

CRISTINA CHERUBINI

**SECAGEM E HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO
ANAERÓBIO EM LEITOS DE SECAGEM ATRAVÉS DA
SOLARIZAÇÃO**

**CURITIBA
2002**



UFPR

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolos@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **CRISTINA CHERUBINI**, com o título: **"Secagem e higienização do lodo de esgoto anaeróbico em leitos de secagem através da solarização"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 18 de abril de 2002.

Prof.^a Dr.^a Celina Wisniewski, Presidente.

Prof.^a Dr.^a Vanete Thomaz Soccol, I^a Examinadora.

Prof. Dr. Cleverson Vitorio Andreoli, II^o Examinador.



“Concedei-nos Senhor, serenidade necessária para aceitar as coisas que não podemos modificar, coragem para modificar aquelas que podemos e sabedoria para distinguirmos umas das outras”.

São Francisco de Assis

*À Deus, dedico este trabalho, agradecendo-lhe pela vida e
oportunidades concedidas.*

*Mamãe Teresinha e papai João, feliz sou eu pelos valiosos pais
que tenho, pelo imenso apoio e incentivo que vocês, todos os
dias me dispensam. Reconheço e grata sou pela batalha que
vocês travaram para que eu chegasse até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Somos dependentes uns dos outros. O presente trabalho não teria sido concluído, ou se quer idealizado se não fosse a ajuda de muitos! Esta página do presente trabalho é fundamental, exprimindo sucintamente a conspiração de inúmeras pessoas para concretização deste projeto, tornando mais fácil e prazerosa a execução do mesmo.

AGRADEÇO

À professora Celina Wisniewski, pela oportunidade de realização deste trabalho, e pela orientação.

Ao professor Cleverson V. Andreoli, chefe, amigo e mestre, pela credibilidade depositada e incentivos constantes, revelando-se para mim, marinheira em águas desconhecidas, um dos grandes depositários do conhecimento, sempre aberto aos forasteiros de outras áreas como eu, despertando assim a paixão pela pesquisa.

À professora Vanete Thomaz-Soccol pelas importantes contribuições.

À Companhia de Saneamento do Paraná, por ter permitido a instalação do aparato experimental em uma das suas unidades, ao gerente Ary Haro dos Anjos Jr., aos Eng^{os} Haroldo Benedito Alves e Vanessa Galperin e à todas as pessoas que colaboraram para o sucesso desse trabalho.

À Andréia C. Ferreira, Anne Helen Nishimura e Charles Carneiro. Abençoada sou por possuir amigos como vocês, podendo compartilhar momentos como esse e saber que existe alguém com quem se possa contar.

À Marilene Lora, Aderlene Lara e Eduardo S. Pegorini pelas importantes contribuições e discussões sérias e não muito sérias travadas no decorrer do caminho.

À Hamilton Rodrigues Fortes e Izaías dos Santos pelo importante auxílio prestado.

Aos colegas Silvana Ap^a Backes, Milene França, Otto Mader, Luiz R. Castro e Cinthya Hoppen, pelo entusiasmo e exemplo prático para palavra "equipe".

À Universidade Federal do Paraná, na figura dos seus profissionais, que consideram seu trabalho, não apenas como uma profissão, mas principalmente como uma missão para tornar nosso planeta e seus habitantes um pouco melhores.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	05
2.1 OBJETIVO GERAL	05
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	05
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
3.1 ORIGEM DO LODO DE ESGOTO	06
3.2 TRATAMENTOS BIOLÓGICOS	07
3.2.1 Aeróbio	07
3.2.2 Anaeróbio	08
3.3 ESTABILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO	10
3.4 ALGUMAS FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL PARA O LODO DE ESGOTO	11
3.4.1 Oceânica	13
3.4.2 Aterro Sanitário	13
3.4.3 Landfarming	14
3.4.4 Incineração	14
3.4.5 Reciclagem Agrícola	15
3.5 RISCOS ASSOCIADOS À RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO	17
3.6 DESAGUAMENTO DO LODO DE ESGOTO	18
3.6.1 Formas de Desaguamento/Desidratação	21
3.6.1.1 Secagem Mecânica	21
3.6.1.1.1 centrífugas	21
3.6.1.1.2 filtros a vácuo	22
3.6.1.1.3 filtro prensa	22
3.6.1.1.4 prensa desaguadora	23
3.6.1.1.5 secagem térmica	23
3.6.1.2 Secagem natural	24
3.6.1.2.1 leito de secagem	24
3.6.1.2.1.1 operação do leito de secagem	27
3.7 CONTAMINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO POR AGENTES PATOGÊNICOS	29
3.7.1 Principais Organismos Presentes no Lodo de Esgoto	31
3.7.1.1 Vírus	31
3.7.1.2 Fungos	31
3.7.1.3 Protozoários	31
3.7.1.4 Bactérias	32
3.7.1.5 Helminhos	32
3.8 HELMINTOS COMO CAUSADORES DE DOENÇAS	34
3.8.1 Ascariíase e Verminoses	37
3.8.2 Teníase	38
3.8.3 Cisticercose	39
3.9 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO/HIGIENIZAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO	40
3.10 ENERGIA SOLAR	42
3.10.1 Solarização	45
4 MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	51
4.2 PROCEDÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO LODO	51

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	52
4.3.1 Descrição dos Tratamentos	53
4.4 MONITORAMENTO DOS DADOS E AMOSTRAGENS	55
4.4.1 Monitoramento da Temperatura	58
4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1 FATORES CLIMÁTICOS	62
5.2 TEMPERATURA NA MASSA DE LODO	65
5.2.1 Testemunha	69
5.2.2 Secagem + Solarização	69
5.2.3 Solarização + Secagem	70
5.2.4 Avaliação Geral e Comparação dos Tratamentos em Função da Temperatura Atingida na Massa de lodo	70
5.2.5 Estratificação da Temperatura na Massa de Lodo	74
5.2.5.1 Camada superficial	74
5.2.5.2 Camada profunda	75
5.2.5.3 Avaliação geral e comparação dos perfis em função da temperatura na massa de lodo e tratamento adotado	76
5.3 DESAGUAMENTO DO LODO	80
5.3.1 Testemunha	81
5.3.2 Solarização + Secagem	81
5.3.3 Secagem + Solarização	82
5.3.4 Avaliação Geral e Comparação dos Tratamentos para Aumento no Teor de Sólidos	82
5.3.5 Estratificação de Sólidos em Perfil de Lodo	85
5.3.5.1 Camada superficial	85
5.3.5.2 Camada profunda	87
5.3.5.3 Avaliação geral e comparação dos tratamentos em função da camada do perfil de lodo e incremento na concentração de sólidos	88
5.4 HIGIENIZAÇÃO	93
5.4.1 Testemunha	97
5.4.2 Solarização + Secagem	97
5.4.3 Secagem + Solarização	98
5.4.4 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Viabilidade dos Ovos de Helmintos	99
5.4.5 Concentração de Ovos de Helmintos de Forma Estratificada	100
5.4.5.1 Camada superficial	100
5.4.5.2 Camada profunda	102
5.4.5.3 Avaliação geral e comparação dos tratamentos em função da camada em perfil de lodo e redução no número de ovos de helmintos viáveis	103
5.5 DISCUSSÃO GERAL	107
6 CONCLUSÕES	109
7 RECOMENDAÇÕES	111
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
9 ANEXOS	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS LODOS BRASILEIROS.....	16
TABELA 2 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS LODOS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS NO ESTADO DO PARANÁ, EXPRESSOS EM RELAÇÃO AO PESO SECO (%).....	16
TABELA 3 – DESEMPENHO TÍPICO DE CENTRÍFUGAS NO DESAGUAMENTO DE LODO.....	22
TABELA 4 – OVOS DE HELMINTOS (NEMATÓIDES E CESTÓIDES) FREQUENTEMENTE ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO.....	33
TABELA 5 – PRINCIPAIS OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADOS NO LODO, HOSPEDEIROS NORMAIS, ACIDENTAIS E DOENÇAS CAUSADAS	37
TABELA 6 - TEMPERATURA E TEMPO DE EXPOSIÇÃO REQUERIDA PARA ELIMINAÇÃO DE ALGUNS PATÓGENOS E PARASITAS	41
TABELA 7 – NÚMERO DE DIAS NECESSÁRIOS PARA ELIMINAR 90-100% DE <i>VERTICILLIUM DAHLIAE</i> NO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	48
TABELA 8 – RADIAÇÃO SOLAR EM KWH/M².DIA PARA A REGIÃO DE COLOMBO – PR NO ANO DE 2000.....	63
TABELA 9 – DADOS CLIMÁTICOS PARA REGIÃO DE COLOMBO-PR NOS MESES DE FEVEREIRO DE MARÇO DE 2001.....	63
TABELA 10 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO E DA CAMADA DO PERFIL	65
TABELA 11 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO NO DECORRER DO TEMPO	68
TABELA 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FATOR TEMPERATURA NA MASSA DE LODO	71
TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA MESMO NÍVEL DE TEMPO	72
TABELA 14 – ESTRATIFICAÇÃO DA TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO	74
TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE TEMPERATURA NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO ADOTADO NO MESMO NÍVEL DE TEMPO	77
TABELA 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEMPERATURA DE LODO NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL	78
TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO PERFIL, PARA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA O MESMO NÍVEL DE TEMPO	78
TABELA 18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEOR DE SÓLIDOS.....	83
TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NO DECORRER DO TEMPO	84

TABELA 20 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA O TEOR DE SÓLIDOS EM PERFIL DE LODO, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO	85
TABELA 21 – TEOR DE SÓLIDOS EM PERFIL DE LODO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEMPO	85
TABELA 22 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA O TEOR DE SÓLIDOS NA CAMADA SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO	86
TABELA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA O TEOR DE SÓLIDOS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA A CAMADA PROFUNDA EM PERFIL DE LODO	87
TABELA 24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE SÓLIDOS NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO	90
TABELA 25 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS PARA A MESMA CAMADA DO PERFIL (SUPERFICIAL OU PROFUNDA), EM FUNÇÃO DO TEMPO	91
TABELA 26 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS ENTRE CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA PARA O MESMO NÍVEL DE TEMPO	92
TABELA 27 – NÚMERO MÉDIO DE OVOS VIÁVEIS ENCONTRADOS NO LODO (PERFIL TODO) EM FUNÇÃO DO TEMPO E % DE REDUÇÃO EM RELAÇÃO AO NÚMERO INICIAL E FINAL	96
TABELA 28 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS	99
TABELA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA A CAMADA SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO	102
TABELA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA A CAMADA PROFUNDA EM PERFIL DE LODO	103
TABELA 31 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO PARA DIFERENTES TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEMPO	103
TABELA 32 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL DO PERFIL DE LODO NOS RESPECTIVOS TRATAMENTOS ADOTADOS	106
TABELA 33 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA AS CAMADAS SUPERFICIAL E PROFUNDA, EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS	106
TABELA 34 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO PERFIL, PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO	107

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL PARA LODO DE ESGOTO..... 12

QUADRO 2 – PREVALÊNCIA ESTIMADA DAS PARASITOSES INTESTINAIS (EM MILHÕES DE PESSOAS) 36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO ANAERÓBIO EM RALF	09
FIGURA 2 – RELAÇÃO ENTRE O VOLUME DO LODO E A SUA FRAÇÃO DE SÓLIDOS	19
FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA ÁGUA NO LODO DE ESGOTO.....	20
FIGURA 4 – ESQUEMA DE LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL	26
FIGURA 5 – EVAPORAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO PARA DIFERENTES CARGAS DE SÓLIDOS APLICADAS.....	27
FIGURA 6 – PERÍODO DE PERCOLAÇÃO EM LEITOS DE SECAGEM PARA VALORES DIFERENTES DE CARGA DE SÓLIDOS INICIAL APLICADA.....	29
FIGURA 7 – IRRADIAÇÃO MÉDIA ANUAL TÍPICA PARA O BRASIL NOS ANOS DE 1995 A 1998	43
FIGURA 8 – ESPECTRO DE RADIAÇÃO.....	44
FIGURA 9 – TEMPERATURAS ALCANÇADAS NO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, COMPARADAS COM O SOLO NÃO SOLARIZADO.....	47
FIGURA 10 – TEMPERATURA DO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES	48
FIGURA 11 – TRANSPORTE E DESCARGA DO LODO POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA.....	52
FIGURA 12 – VISÃO PARCIAL DO APARATO EXPERIMENTAL.....	54
FIGURA 13 – INSTALAÇÃO DO FILME PLÁSTICO SOBRE O LEITO DE SECAGEM.....	55
FIGURA 14 – ILUSTRAÇÃO DA INSTALAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA DENTRO DO LEITO DE SECAGEM.....	59
FIGURA 15 – CABOS DE COMPENSAÇÃO LIGADOS AO COMPUTADOR/SENSORES PARA MONITORAMENTO DA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO.....	59
FIGURA 16 – IRRADIAÇÃO MÉDIA MENSAL REGIONAL E VARIABILIDADE DA IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA PARA A REGIÃO SUL BRASILEIRA	62
FIGURA 17 – MÉDIA DIÁRIA DA TEMPERATURA AMBIENTE EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA NOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO/2001.	64
FIGURA 18 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO).....	66
FIGURA 19 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM).....	67
FIGURA 20 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO NAS PROFUNDIDADES AVALIADAS (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (CONTROLE TESTEMUNHA).	67

FIGURA 21 – MÉDIA DIÁRIA BIMESTRAL DE TEMPERATURA NA MASSA DE LODO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS	72
FIGURA 22 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA OS RESPECTIVOS TRATAMENTOS NO MÊS DE FEVEREIRO - 0 A 30 DIAS (MÉDIA DIÁRIA MENSAL).....	73
FIGURA 23 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA OS RESPECTIVOS TRATAMENTOS NO MÊS DE MARÇO – 31 A 60 DIAS (MÉDIA DIÁRIA MENSAL)	73
FIGURA 24 - TEOR DE SÓLIDOS (%) NO PERFIL DE LODO PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM RELAÇÃO AO TEMPO.	83
FIGURA 25 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS NO TRATAMENTO TESTEMUNHA PARA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL EM FUNÇÃO DO TEMPO	88
FIGURA 26 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS PARA O TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM NA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	89
FIGURA 27 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS PARA O TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO NA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO	89
FIGURA 28 - PORCENTAGEM DE OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO ANAERÓBIO ORJUNDO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	94
FIGURA 29 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO TESTEMUNHA).....	104
FIGURA 30 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM).....	105
FIGURA 31 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO).....	105

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar eficiência da solarização para higienização e desaguamento de lodo de esgoto anaeróbio, disposto em leitos de secagem. O aparato experimental foi instalado na estação de tratamento de esgotos Guaraituba, localizada no município de Colombo, Estado do Paraná - Brasil, segundo delineamento em blocos em acaso com três tratamentos e três repetições com duração de 60 dias. Os parâmetros monitorados foram: temperatura e umidade externa, temperatura na massa de lodo, contagem e viabilidade de ovos de helmintos e teor de sólidos em duas profundidades.

A maior temperatura observada na massa de lodo para o bloco Testemunha foi de 36°C (camada superior) e 34° (camada inferior). No tratamento Secagem + Solarização observou-se picos de 41,6°C (camada superficial) e 37°C (camada profunda). Já o tratamento Solarização + Secagem alcançou 43,6°C (camada superficial) e 31,6°C (camada profunda). As temperaturas mais elevadas foram observadas na camada superficial do perfil, em todos os tratamentos, quando o filme plástico estava em contato direto com o lodo, comprovando a capacidade de elevação da temperatura na massa de lodo através do efeito estufa, proporcionado pelo filme plástico transparente (solarização).

A carga de sólidos utilizada foi de 34,5 kg.ST/m², alcançando ao final do experimento teores de sólidos de 36% (Secagem + Solarização), 45% (Solarização + Secagem) e 47% (Testemunha). A radiação solar, temperatura ambiente, precipitação e umidade relativa do ar apresentaram grande influência na concentração de sólidos do lodo, uma vez que foram observadas correlações significativas para estas variáveis.

A quantidade de ovos de helmintos detectada no lodo reflete o perfil sanitário da população sendo o *Ascaris* (≈80%) o gênero de helminto predominante. Verificou-se em todas as amostragens uma maior concentração dos ovos de helmintos na camada inferior (profunda) no perfil do lodo, apresentando aos 30 dias 67,35% dos ovos na camada inferior e 85,89% aos 60 dias.

Concluiu-se que os tratamentos adotados para higienização e secagem do lodo de esgoto anaeróbio não obtiveram a eficiência idealizada para eliminação de ovos de helmintos nas condições climáticas da região metropolitana de Curitiba. Dentro dos tratamentos avaliados o menor índice de ovos de helmintos verificado foi no lodo do tratamento secagem + solarização com 5,19 ovos/g de MS. Portanto, muito além dos 0,25 ovos/g de MS como preconiza a Instrução Normativa Paranaense. A maior porcentagem de inviabilização dos ovos de helmintos observada no tratamento em relação aos demais, está associada ao alcance de temperaturas mais elevadas, uma vez que a correlação de inviabilização dos ovos de helmintos tende a se relacionar com a temperatura no lodo.

Mesmo não alcançando o nível para ovos de helmintos recomendado pela Instrução Normativa Paranaense para uso agrícola do lodo de esgoto, reduziu-se 31,10% no número de ovos viáveis, ou seja, aproximadamente 09 milhões de ovos em cada parcela.

ABSTRACT

This work had for objective evaluate the efficiency of the solar system for hygienic cleaning and draining of sludge of anaerobic sewer, made use in dry beds. The experimental apparatus was installed in the station of treatment of sewers in Guaraituba, located in the city of Colombo, State of the Paraná - Brazil, according to delineation block-type incidentally with three treatments and three repetitions with duration of 60 days. The monitored parameters had been: temperature and external humidity, temperature in the sludge mass, counting and viability of helminthes egg and solid text in two depths.

The biggest temperature observed in the mass of sludge for the block Witness was of 36°C (superior layer) and 34° (inferior layer). In the treatment Drying + Solar system observed peaks of 41.6°C (superficial layer) and 37°C (deep layer). Already the Solar system treatment + Drying reached 43.6°C (superficial layer) and 31.6°C (deep layer). The raised temperatures had been observed in the superficial layer of the profile, in all the treatments, when the plastic film was in direct contact with the sludge, proving the capacity of rise of the temperature in the mass of sludge through the effect greenhouse, proportionate for the transparent plastic film (solar system).

The load of solid used was of 34.5 kg.ST/m², reaching in the end of the experiment solid texts of 36% (Drying + Solar system), 45% (Solar system + Drying) and 47% (Witness). The solar radiation, ambient temperature, precipitation and relative humidity of air had presented great influence in the solid concentration of the sludge, in as much as had been observed significant correlation between these variable.

The amount of eggs of helminthes detected in the sludge reflects the profile sanitary of the population, being the *Ascaris* (80%) the predominant sort of helminthes. A bigger concentration of eggs of helminthes in the inferior layer (deep) in the profile of the sludge was verified in all the samplings, presenting at 30th day 67.35% of eggs in inferior layer and 85.89% at the 60th day.

One concluded that the treatments adopted for hygienic cleaning and drying of the sludge of anaerobic sewer had not gotten the efficiency idealized for elimination of helminthes eggs in the climatic conditions of the region metropolitan of Curitiba. Inside of the evaluated treatments the lesser index of helminthes eggs verified was in the sludge of the treatment drying + solar system with 5.19 eggs/g of MS. Therefore, much beyond the 0.25 eggs/g of MS as it praises the Normative Instruction Paranaense. The biggest percentage of make impracticable of helminthes eggs observed in the treatment in relation to the other one, is associated with the reach of higher temperatures, a time that the correlation of make impracticable of helminthes eggs tends to relate with the temperature in the sludge.

Exactly not reaching the level for helminthes eggs recommended by the Normative Instruction Paranaense for agricultural use of the sewer sludge, 31.10% in the viable egg number were diminished, that represents approximately 09 million of egg in each parcel.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população urbana, torna-se necessário viabilizar a remoção e tratamento dos esgotos produzidos, bem como destinação e reutilização segura deste, sem prejuízo algum ao meio ambiente. A adoção de tecnologias de baixo custo são indispensáveis para atender os índices cada vez mais restritivos, onde a eficiência dos tratamentos deve ser satisfatória tanto aos requisitos ambientais e aos de segurança à saúde pública (MIKI *et al.*, 2001).

O lodo produzido no processo de tratamento pelas estações de tratamento de esgotos (ETE's), é um resíduo com destino problemático. Mesmo após sofrer tratamento, ainda apresenta grande potencial poluidor e contaminação por organismos patogênicos, que podem causar sérios problemas à saúde, podendo se tornar, sem os devidos cuidados, em uma importante fonte de poluição dos rios e mananciais, alterando e dificultando o curso normal de vida da fauna e flora da região afetada (FILHO, 1999).

De acordo com a divisão de vigilância sanitária do Ministério da Saúde, 65% das internações hospitalares no Brasil são consequência de doenças por veiculação hídrica. Infelizmente cerca de 50 milhões de pessoas nas áreas urbanas ainda não possuem nenhum tipo de rede de coleta, e somente 20% dos esgotos coletados em 1990 sofriam algum tipo de tratamento (SANEPAR, 1998; 1997). Os reflexos da falta de saneamento determinam índices alarmantes de contaminação na população, índices com os quais convivemos, atingindo de forma bastante intensa indivíduos que vivem nos bolsões de pobreza existentes nos grandes centros urbanos.

MOTTA *et al.*, (1994) estimaram um valor monetário de US\$ 387 milhões para perdas ambientais no Brasil para o ano de 1989, decorrentes do lançamento de esgoto "*in natura*" nos rios. Segundo os autores, as perdas ambientais podem ser consideradas como a soma da produção sacrificada pela morbidade e mortalidade humana, causadas por doenças relacionadas à poluição hídrica doméstica e gastos médicos necessários para tratar dessas doenças.

As crescentes demandas sociais por melhores condições do ambiente, têm determinado uma revisão nos conceitos do saneamento. O aumento populacional e a crescente industrialização determinam o aumento da produção dos resíduos sólidos urbanos, que em decorrência de seu manejo inadequado contribuem significativamente para a degradação da qualidade ambiental (FILHO, 1999; MIKI *et al.*, 2001). O aumento na produção de lodo de esgoto exige adoção de medidas definitivas para a disposição segura do resíduo ao meio, com redução efetiva do seu potencial poluidor. O manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos e das águas está entre os assuntos ambientais mais relevantes da atualidade para a manutenção da qualidade do meio ambiente e especialmente na busca do desenvolvimento sustentável (ONU, 1995).

Para que o lodo de esgoto possa ser utilizado seguramente como fertilizante agrícola ou até mesmo disposto no meio, é necessário que o mesmo passe por um processo de desinfecção eficaz, reduzindo a concentração dos organismos patogênicos, evitando contaminação do solo e cursos d'água, contribuindo e zelando para a manutenção da saúde humana e animal.

São várias as formas de higienização que poderiam ser adotadas para o lodo. Algumas dispõem elevadas quantidades energéticas/econômicas, podendo até mesmo inviabilizar sua utilização.

Alguns métodos de higienização podem ser citados como: caleação (inertização pela cal); pasteurização; radiação beta, gama e solar; compostagem; exposição do lodo à elevadas temperaturas (secagem térmica); digestão aeróbia; digestão anaeróbia e hipercloração (EPA, 1992). Segundo FERREIRA (2001) a eficiência dos métodos depende da natureza dos patógenos existentes no lodo, bem como da qualidade operacional dos mesmos. Algumas destas técnicas como a secagem térmica, além de eliminar organismos patogênicos pela exposição à altas temperaturas, ainda viabilizam o transporte do lodo por maiores distâncias, uma vez que o produto estará mais concentrado.

Conforme ANDREOLI e PEGORINI (1998b), o maior entrave à reciclagem agrícola do lodo é o transporte, que pode representar mais de 50% do custo total da operação.

Todos os processos para higienização e secagem de lodo, devem visar a manutenção da saúde humana/animal e a garantia da qualidade ambiental da forma mais econômica possível. O desaguamento do lodo é fundamental, principalmente ao fator econômico, representando uma diminuição do volume a ser transportado e disposto ao meio, facilitando seu manuseio e transporte (JORDÃO e PESSÔA, 1995). Portanto, a minimização de custos é um importante fator na escolha do procedimento de disposição final do lodo a ser adotado.

A reciclagem agrícola do lodo de esgoto só deve ser adotada como disposição final se sua composição química for adequada e a concentração de agentes patogênicos for compatível com o uso, uma vez que quanto maior o grau de sanidade do lodo, menor será sua restrição de uso.

A solarização em lodo de esgoto é uma alternativa de higienização com baixos custos, uma vez que utiliza a energia solar como fonte de aquecimento e conseqüente higienização. Os organismos patogênicos, como os ovos de helmintos, podem ser eliminados pela ação de altas temperaturas proporcionadas pela presença do filme plástico transparente sobre o lodo (efeito estufa).

O presente trabalho avalia o uso da energia solar no incremento da temperatura, higienização e secagem do lodo de esgoto anaeróbio acondicionado em leitos de secagem nas Estações de Tratamentos de Esgotos (ETE's), visando obter um produto sanitariamente seguro e economicamente viável para disposição agrícola. O processo adotado foi a solarização que consiste na presença de um filme plástico transparente diretamente sobre o lodo, em leitos de secagem, visando a criação do efeito estufa para higienização térmica do lodo pela elevação da temperatura devido a incidência dos raios solares.

O referido estudo é um projeto do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB - financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), MCT

(Ministério de Ciência e Tecnologia) e CEF (Caixa Econômica Federal), através da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná – GECIP Grupo Específico de Consultoria Intercâmbio e Pesquisa), inserido no projeto: “Operacionalização das Alternativas de Secagem, Desinfecção e Disposição Final do Lodo de Esgoto – Continuidade”.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Monitorar fatores que interferem no processo de secagem e desinfecção de lodo de esgoto digerido anaerobiamente, visando o estabelecimento de parâmetros para sua higienização e secagem através da solarização combinada à secagem convencional, ao céu aberto, em leitos de secagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência dos fatores temperatura e tempo na secagem/higienização de lodo digerido anaerobiamente em escala real, visando alcançar altas concentrações de sólidos no lodo ao final do experimento;
- Recomendações de uso para o filme plástico transparente sobre a superfície da massa de lodo (solarização), visando a criação do efeito estufa para higienização térmica do lodo pela elevação da temperatura devido a incidência dos raios solares;
- Avaliação dos teores de sólidos no perfil de lodo de forma estratificada, verificando assim, o comportamento do lodo, em duas camadas, nos leitos de secagem;
- Contagem e viabilidade de ovos de helmintos, determinando a eficiência dos processos para higienização, bem como a estratificação dos ovos no perfil do lodo (avaliação de duas camadas no perfil);
- Indicar parâmetros para manejo do leito de secagem sob as condições anteriores, visando o uso do lodo de esgoto para reciclagem agrícola com segurança sanitária, considerando-se o percentual de inviabilização dos ovos de helmintos no lodo, pela ação do efeito estufa, proporcionado pela solarização.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ORIGEM DO LODO DE ESGOTO

Segundo SPERLING (1996), o esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como vários microrganismos patogênicos ou não. Antes de ser lançado em corpos receptores, o esgoto deve ser tratado, evitando problemas ambientais e de saúde pública (AISSE *et al.*, 1999b). O lodo é produzido no processo de tratamento de esgotos, constituído por água e sólido granuloso, flocoso e coloidal, substâncias orgânicas e inorgânicas (THOMAZ-SOCCOL, 1998b; TSUTIYA, 2001a).

O tratamento de esgotos tem por objetivo reduzir o potencial poluidor dos efluentes urbanos, consistindo basicamente na redução da carga orgânica do efluente liberado aos corpos receptores, através de processos de oxidação e da concentração de matéria orgânica por decantação, tendo como produto final o lodo, um resíduo de composição extremamente variável com grande potencial poluidor (ANDREOLI e PEGORINI, 1998a).

O lodo produzido em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) representa apenas 1% a 2% do volume de esgoto tratado, porém o custo do tratamento e disposição final do lodo chega a atingir entre 30% a 50% do custo operacional de uma ETE (LUDUVICE, 1998).

O tratamento e a disposição final do lodo de esgoto são processos problemáticos e onerosos, podendo absorver 60% do orçamento operacional para controle de poluição das águas nos países desenvolvidos (WEBBER & SHAMESS, 1984). Conseqüentemente com aumento na produção de lodo, aumentam os custos para disposição final do resíduo.

A cidade de Curitiba, capital do Paraná, possui várias ETE's, produzindo mais de 1.084 toneladas/ano de lodo de esgoto, representando um custo aproximado de R\$157.089,00 entre transporte e secagem (PULKOW e AISSE, 1997).

Nos últimos anos a produção de lodo tem aumentado consideravelmente devido à construção de novas estações de tratamento. Com o tratamento dos esgotos,

as empresas de saneamento deparam-se com a problemática de sua disposição (DAMASCENO e CAMPOS, 2000). Portanto, soluções para os efeitos do acúmulo de materiais indesejáveis são prementes e devem ser duradouras (VAZOLLER, 1999).

3.2 TRATAMENTOS BIOLÓGICOS

O impacto dos processos microbiológicos no dia-a-dia da existência humana é difícil de ser quantificado, devido à ampla variedade de produtos cuja elaboração envolveu direta ou indiretamente microrganismos. Segundo VAZOLLER (1999) a utilização de microrganismos na preservação e recuperação dos ecossistemas, consiste um instrumento da biotecnologia de valor inestimável. O tratamento de águas residuárias e resíduos sólidos pela ação de microrganismos constitui verdadeiro ecossistema microbiano que estabilizam compostos orgânicos poluentes.

Os sistemas de tratamento de esgoto otimizam os fenômenos de biodegradação que já ocorrem na natureza (AISSE *et al.*, 1999c). Os microrganismos presentes no esgoto têm a capacidade de metabolizar diferentes compostos orgânicos e inorgânicos, extraindo destes, fontes nutricionais e energéticas para sua reprodução (VAZOLLER, 1999; ALEM SOBRINHO, 2001), dessa forma reduzindo o potencial poluidor dos rejeitos (AISSE *et al.*, 1999c).

Segundo SPERLING e GONÇALVES (2001), todos os processos de tratamento biológico de esgotos geram lodo, sendo o lodo primário composto, predominantemente, de sólidos sedimentáveis do esgoto bruto e o lodo biológico (secundário), de biomassa alimentada pela matéria orgânica do afluente.

Segundo FERREIRA (2001) a tecnologia empregada para tratamento do esgoto tem influência direta na quantidade de lodo gerada ao final do processo.

3.2.1 Aeróbio

A biodegradação aeróbia acontece na presença de oxigênio, onde microrganismos aeróbios ou facultativos degradam a matéria orgânica presente nos esgotos (AISSE *et al.*, 1999c).

Conforme VAZOLLER (1999) os tipos microbianos encontrados nos lodos ativados se estabelecem no reator através das condições de operação como: quantidade de matéria orgânica, agitação, disponibilidade de oxigênio e interações microbianas. Os microrganismos aeróbios utilizam o oxigênio dissolvido para converter a matéria orgânica biodegradável em dióxido de carbono e água (ALEM SOBRINHO, 2001).

Segundo ANDREOLI e PEGORINI (1998b), os sistemas aeróbios podem produzir lodo de forma contínua ou por bateladas, tendo seu teor de sólidos final, variável em função do método de desaguamento adotado. Na ETE-Belém a retirada de lodo é contínua, passando por um filtro prensa de onde sai com um teor de umidade próximo a 86% (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1996).

Segundo ALEM SOBRINHO (2000), a produção de lodo proveniente de tratamento aeróbio gira em torno de 40 a 70 g ST/hab.dia, não havendo produção de biogás.

3.2.2 Anaeróbio

A biodegradação anaeróbia é realizada na ausência de oxigênio, por espécies de bactérias do grupo hidrolíticas-fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e metanogênicas (AISSE *et al.*, 1999c; VAZOLLER, 1999).

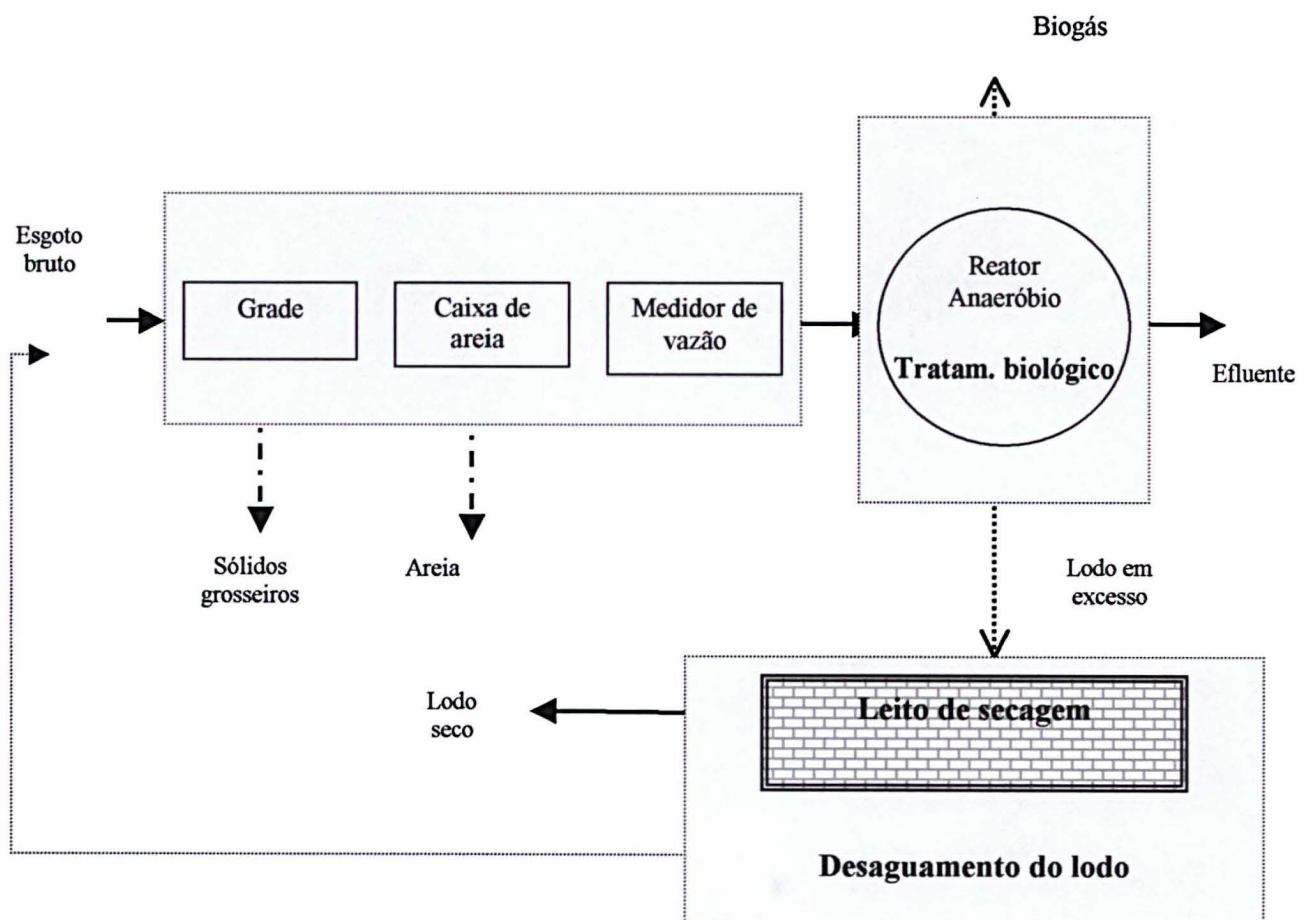
O RALF (reator anaeróbio de leito fluidizado) é um sistema de tratamento de esgotos que possui baixos custos de implantação e manutenção, sendo amplamente utilizado no Estado do Paraná pela Sanepar (SANEPAR, 1998). É uma unidade compacta e não necessita nenhum tipo de energia complementar (CHERNICHARO *et al.*, 1999). Sua eficiência para remoção de DQO (demanda química de oxigênio) está entre 75% e 85% (AISSE e ANDREOLI, 1999).

No reator anaeróbio ocorre a digestão da parte sólida retida, como a própria biomassa presente (atividade metabólica das bactérias), resultando em um lodo bem estabilizado (KATO *et al.*, 1999). Conforme CHERNICHARO *et al.*, (1999), o alto grau de estabilização se deve ao elevado tempo de residência celular no sistema de tratamento.

O esgoto entra pela parte inferior do reator e o fluxo hidráulico faz com que parte do lodo fique em suspensão, o que facilita a ação dos microrganismos (SANEPAR 1997). O esgoto é retido por aproximadamente 8 horas, e o lodo gerado durante o processo vai se depositando no fundo do reator, sendo decomposto pelos microrganismos anaeróbios e transformado em gases (CH_4 , CO_2 e H_2S), produtos solúveis intermediários da decomposição e material sólido mineralizado (LIMA *et al.*, 1998; AISSE *et al.*, 1999c). Portanto, o material acumulado é a mistura de lodo de diferentes idades (THOMAZ-SOCCOL, 1998b).

A figura 1 esquematiza o fluxo de uma ETE com tratamento anaeróbio tipo RALF.

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO ANAERÓBIO EM RALF



FONTE: CHERNICHARO *et al.*, (1999).

Nos sistemas tipo “RALF” são realizadas descargas por batelada, normalmente a cada 30 dias (CHERNICHARO *et al.*, 1999). O lodo descartado possui aproximadamente 4-10% de sólidos totais, proporcional ao tempo de permanência do lodo no reator (SANEPAR, 1997). Portanto o lodo produzido é bem estabilizado, de cor escura, facilmente desidratável e praticamente sem odor (FERNANDES, 1998).

Segundo ALEM SOBRINHO (2000), a produção de lodo proveniente de tratamento anaeróbio gira em torno de 15 a 20 g ST/hab.dia.

3.3 ESTABILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

A biodegradação do lodo gera gases responsáveis pela emissão dos odores ofensivos (FERNANDES, 2000). O lodo bruto, por conter alto teor de sólidos voláteis, possui elevado potencial de putrefação e a conseqüente produção de aminas, diaminas, gás sulfídrico e amônia, principais responsáveis pelos odores desagradáveis (FERNANDES, 2000).

A estabilização do lodo de esgoto envolve processos físicos, químicos e biológicos, tendo por objetivo diminuir algumas características indesejáveis do lodo, tais como o odor, quantidade de patógenos e reduzir o potencial de putrefação (FERNANDES, 1998; MIKI *et al.*, 2001). A estabilização do lodo minimiza riscos à saúde e controla odores ofensivos, pois geralmente a estabilidade está associada à putrescibilidade (IDE *et al.*, 1993).

Vários são os indicadores que podem ser utilizados para avaliar o grau de estabilização do lodo, tais como: odor, redução de patógenos, redução de sólidos voláteis, toxicidade, taxa de absorção de oxigênio, ATP (adenosina tri-fosfato), atividade enzimática, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), COT (Carbono Orgânico Total), teor de carboidratos, proteínas, lipídios, nitrogênio (amoniaco e nítrico), orto fosfato, cinzas, aptidão à desidratação, presença de protozoários e rotíferos, viscosidade, valor calorífico, bem como a combinação de vários parâmetros (FERNANDES, 1998).

De acordo com o mesmo autor, existem basicamente quatro mecanismos de transformações utilizados durante a estabilização: 1) redução biológica do teor de sólidos voláteis; 2) oxidação química da matéria orgânica; 3) alteração química do lodo, tornando-o um meio inadequado à atividade biológica; 4) desinfecção do lodo através do aumento na temperatura.

A estabilização biológica degrada a fração mais putrescível do lodo, e a parte orgânica restante mais resistente à transformações é um produto mais estável. A biodegradação pode ser realizada em meio mesofílico ou termofílico, onde no caso do termofílico as altas temperaturas auxiliam na eliminação de patógenos (FERNANDES, 1998).

Na reciclagem agrícola do lodo de esgoto a importância da estabilização está vinculada aos odores, atração de vetores e concentração de patógenos (FERNANDES, 2000). Os teores de sólidos fixos e voláteis são bons indicadores do grau de mineralização do lodo e, portanto, de seu odor potencial (AISSE *et al.*, 1999b).

3.4 ALGUMAS FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL PARA O LODO DE ESGOTO

O controle de poluição das águas enfatiza o tratamento de esgotos, deixando em segundo plano o problema do lodo gerado no tratamento, sem definição clara para uma destinação final (ALEM SOBRINHO, 2001).

O destino final adequado para o lodo é um fator fundamental para o sucesso de um sistema de saneamento. No entanto, esta atividade tem sido negligenciada em nosso país, sendo comum a omissão sobre gestão de resíduos nos projetos de ETE's, fazendo com que a disposição final do resíduo seja realizada sem planejamento e muitas vezes em situações emergenciais (SPERLING e ANDREOLI, 2001).

A situação geográfica, demográfica e econômica influencia a alternativa de disposição para o lodo produzido (ROGALLA, 1998). Nos EUA, a forma predominante é a disposição agrícola, adotando aproximadamente 55,5% do lodo produzido, devendo alcançar 61,5% até o ano de 2010 (EPA, 1999). Na Europa a

reciclagem e a disposição em aterros sanitários são as alternativas predominantes, onde são direcionados, para cada uma delas, cerca de 40% do lodo produzido (DAVIS e HALL, 1997).

Em países econômica e socialmente carentes, como o Brasil, deve-se priorizar alternativas de tratamento e disposição final que além da viabilidade técnica, aproveitem o pessoal local com baixos custos de implantação e manutenção (BERNARDES, 1986).

A escolha da alternativa de disposição final para o lodo de esgoto envolve impactos potenciais ao ambiente, que podem ser controlados pela eficiência da operação e manejo intrínsecos a cada uma das alternativas (LARA *et al.*, 2001).

Entre as várias alternativas para disposição final do lodo de esgoto, a reciclagem agrícola tem se destacado por reduzir a pressão de exploração dos recursos naturais e reduzir a quantidade de resíduos com restrições ambientais quanto à sua destinação final (BROWN, 1991).

A reciclagem agrícola do lodo pode transformar um resíduo poluente em importante insumo agrícola que pode fornecer matéria orgânica e nutrientes ao solo, trazendo vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente, tais como a redução dos efeitos adversos à saúde causados pela incineração, diminuição da dependência de fertilizantes químicos e melhoria das condições para o balanço de CO₂ pelo incremento de matéria orgânica ao solo (OUTWATER, 1994).

O Quadro 1 mostra o custo em dólar para disposição final do lodo para as diferentes alternativas.

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DA DISPOSIÇÃO FINAL PARA LODO DE ESGOTO

Alternativas de disposição final	Custo (US\$/tonelada)
Oceânica	12 a 50
Aterros sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem agrícola	20 a 125

FONTE: CARVALHO e BARRAL (1981).

3.4.1 Oceânica

Consiste no lançamento do lodo de esgoto em alto mar. Esta alternativa foi bastante difundida em cidades litorâneas como Nova Iorque, nos EUA. Porém, estudos realizados pela EPA (Environmental Protection Agency) demonstraram os prejuízos ambientais de tal prática, sendo a disposição oceânica abolida nos EUA em julho de 1992 (ROCHA, 1998).

Segundo LARA *et al.*, (2001) a descarga oceânica de lodos é potencialmente impactante, uma vez que os movimentos marinhos podem resultar na volta à praia do material lançado por emissários oceânicos ou navios lameiros, ou ainda a precipitação de elementos tóxicos/patogênicos, contribuindo para alteração da comunidade bentônica, promovendo morte de espécies mais sensíveis e até mesmo bioacumulação de metais e compostos tóxicos na cadeia trófica, podendo chegar ao homem através do consumo de produtos marinhos contaminados.

3.4.2 Aterro Sanitário

Segundo LUDUVICE e FERNANDES (2001), a disposição do lodo em aterros não requer preocupação com nutrientes e metais, não tendo o lodo nenhuma finalidade útil.

O lodo é confinado em células, gerando subprodutos como o metano, devido à biodegradação anaeróbia. Porém, a disposição em aterros pode causar poluição às águas subterrâneas e superficiais, em função da lixiviação e escoamento de líquidos percolados que podem carrear substâncias tóxicas como nitratos, metais, compostos orgânicos e patógenos (LARA *et al.*, 2001).

A alternativa de disposição de lodos em aterros sanitários, segundo ROCHA (1998) não é sustentável em longo prazo, devido à saturação da capacidade dos aterros. A aquisição de novas áreas é dificultada devido a uma série de fatores como rejeição por parte da população em torno dos aterros, preço relativamente elevado das áreas e dificuldade de encontrar uma área que atenda as necessidades técnicas, tendo

ainda que existir um grau de tecnologia suficiente para operar e manter o aterro dentro das condições mínimas necessárias de segurança.

3.4.3 “Landfarming”

A disposição superficial do lodo no solo ou “*Landfarming*” é um sistema de tratamento através da fermentação aeróbia contínua (LARA *et al.*, 2001).

Segundo TSUTIYA (2001b) o processo consiste na mistura do resíduo com a camada de solo existente na zona arável, recebendo doses elevadas de lodo por vários anos. Por tratar-se de um sistema aberto, o planejamento ou gerenciamento são fundamentais para evitar problemas de contaminação das águas, alimentos e do próprio solo que podem vir a inviabilizar áreas de *landfarming* para qualquer outro uso (LARA *et al.*, 2001).

3.4.4 Incineração

Segundo LUDUVICE e FERNANDES (2001) a incineração é o processo de estabilização do lodo que propicia a maior redução no volume para disposição final do resíduo. A incineração consiste na secagem e combustão do material (ROCHA, 1998).

A incineração ocasiona, além da emissão de gases e material particulado, que podem causar poluição atmosférica através de poluentes orgânicos, metais particulados e odores (LARA *et al.*, 2001), gera uma pequena quantidade de cinzas, que podem ser consideradas relativamente inertes (ROCHA, 1998). Porém a disposição inadequada das cinzas está associada a riscos de lixiviação de metais pesados e posterior absorção destes elementos pelas plantas (LUDUVICE e FERNANDES, 2001).

Segundo ROCHA (1998) o custo da incineração por quilograma de lodo é ao redor de R\$ 2,00.

3.4.5 Reciclagem Agrícola

Segundo BERNARDES (1986), a partir de 1840 houve um grande crescimento do uso dos fertilizantes químicos em detrimento aos fertilizantes de origem orgânica, sendo a reciclagem considerada ultrapassada. Com o agravamento dos problemas de poluição, eutrofização dos corpos d'água e escassez de nutrientes minerais, a reciclagem agrícola tornou a representar papel importante em nossa atualidade (BERNARDES, 1986; FERREIRA, 2001).

A aplicação do lodo de esgoto no solo é bastante desejável, principalmente pela melhoria das suas condições físicas e pela presença de micronutrientes essenciais ao crescimento da vegetação, além de promover aumento na capacidade de retenção de umidade, aumento da porosidade, aumento da biodiversidade bacteriana e redução da lixiviação em solos que receberam aplicação de lodo (PINTO, 1998).

A reciclagem de biossólidos na agricultura vem se mostrando como uma alternativa vantajosa do ponto de vista econômico e ambiental quando comparada com outras formas de disposições adotadas (RAIJ, 1998). Em um Estado de forte tradição agrícola como o Paraná, a valorização agrícola do lodo de esgoto tem sido colocada como alternativa preferencial para disposição final do resíduo, comportando-se como um condicionador de solos, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo onde o lodo tenha sido incorporado (BONNET *et al.*, 1998; SANEPAR, 1997).

Pesquisas já concluídas pela EMBRAPA, IAPAR e EMATER mostraram que a incorporação do lodo de esgoto ao solo levou a aumentos na produtividade de 20 a 50% para vários tipos de cultura em solos paranaenses, onde a parte orgânica do lodo pode aumentar o conteúdo de matéria orgânica, melhorando a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e conseqüentemente reduzindo a erosão (SANEPAR, 1997).

Segundo BERTIPAGLIA *et al.*, (1998), os lodos do Brasil apresentam variações na composição química, decorrente de vários fatores como: população contribuinte, tipo de tratamento, origem, entre outros. Esta variação na composição

dos lodos está relacionada na Tabela 1. A composição média dos lodos paranaenses vêm ilustrada na Tabela 2.

TABELA 1 – VARIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE LODOS BRASILEIROS

ELEMENTO	VARIAÇÃO
Nitrogênio (N)	08-40 (g.Kg ⁻¹)
Fósforo (P)	04 – 40 (g.Kg ⁻¹)
Potássio (K)	01-12 (g.Kg ⁻¹)
Cálcio (Ca)	10-60 (g.Kg ⁻¹)
Magnésio (Mg)	01-05 (g.Kg ⁻¹)
Enxofre (S)	02-06 (g.Kg ⁻¹)
Ferro (Fe)	20.000-30.000 (g.Kg ⁻¹)
Zinco (Zn)	500 – 4000 (mg.Kg ⁻¹)
Cobre (Cu)	400 – 3500 (mg.Kg ⁻¹)
Manganês (Mn)	200-850 (mg.Kg ⁻¹)
Alumínio (Al)	2000 – 75.000 (mg.Kg ⁻¹)
Cádmio (Cd)	05-30 (mg.Kg ⁻¹)
Chumbo (Pb)	50 -800 (mg.Kg ⁻¹)
Cromo (Cr)	70 -400 (mg.Kg ⁻¹)
Níquel (Ni)	150-600 (mg.Kg ⁻¹)

FONTE: BERTIPAGLIA *et al.*, (1993).

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS LODOS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS NO ESTADO DO PARANÁ, EXPRESSOS EM RELAÇÃO AO PESO SECO (%).

LODO	N total	P2O5 sol CNA*	P2O5 total	K2O	Ca	Mg	pH	cinzas	MO	C	% sólidos	C/N
Aeróbio	4,91	2,46	3,70	0,36	1,59	0,60	5,9	37,2	69,4	32,1	6,5	6:01
ETE-Belém												
Anaeróbio	2,22	0,67	0,95	0,34	0,83	0,30	6,1	55,3	36,2	20,1	7,9	9:01
RALF												

*solúvel em citrato neutro de amônio

FONTE: SANEPAR, 1997.

Do ponto de vista econômico, o uso do lodo como fertilizante orgânico representa menor custo, uma vez que a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas é possível, com rendimentos equivalentes, ou superiores àqueles obtidos com utilização de fertilizantes comerciais (USEPA, 1979 citada por ANDREOLI e PEGORINI, 1998a).

As experiências negativas de uma prática inadequada podem inviabilizar a reciclagem agrícola do lodo de esgoto para o futuro, face às resistências que podem gerar na sociedade, decorrentes dos potenciais danos ambientais, agronômicos e sanitários. Porém a tendência avança para se produzir um insumo de boa qualidade

para a agricultura com garantia de segurança à população e ao meio ambiente (SANEPAR, 1998).

Segundo ANDREOLI *et al.*, (1998) considerando-se, hipoteticamente, que toda população do Paraná recebesse tratamento do esgoto, a produção de lodo supriria apenas 2% da área cultivada com milho em 66 municípios avaliados, considerando-se uma aplicação de seis toneladas por hectare.

3.5 RISCOS ASSOCIADOS À RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO

A aplicação de resíduos do saneamento no solo é uma prática secular, porém, somente na década de 60/70 preocupações para avaliação dos perigos potenciais de uso de lodo em solos agrícolas começaram a ser estudados (PINTO, 1998). Este esforço culminou com a criação de legislações específicas em vários países, como a CFR 503 da USEPA, em 1993, que buscou através de técnicas de análises de riscos, tornar a aplicação de lodo no solo uma alternativa viável e segura (PINTO, 1998).

O lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos químicos e biológicos indesejáveis do ponto de vista ambiental, ou seja, pode conter elementos que, em contato com o homem e/ou com a fauna e a flora, podem causar doenças e contaminações diversas (ROCHA, 1998). Portanto, qualquer decisão sobre o destino final mais apropriado para o lodo de esgoto depende da avaliação e minimização dos riscos de contaminação ao ambiente e ao homem. A norma CFR 503, promulgada nos EUA, trata especificamente do uso e disposição de lodos provenientes de ETE's, definindo níveis de poluentes permissíveis e concentração de organismos patogênicos (KARABOLAD *et al.*, 1998).

Os principais riscos de contaminação do lodo de esgoto estão associados aos metais pesados, principalmente devido à influência de contribuições industriais (SANEPAR, 1997), poluentes orgânicos provenientes de despejos industriais e residenciais como medicamentos e ainda pela utilização de agrotóxicos na agricultura

(BERGS e LINDNER, 1997) e por agentes patogênicos, refletindo as condições sanitárias da população (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1998b).

A forma de evitar a contaminação do lodo de esgoto por metais pesados e poluentes orgânicos é a prevenção, através da exigência de níveis severos para o recebimento de efluentes na rede coletora. A aplicação de alternativas tecnológicas para a gestão de resíduos, envolve a revisão dos padrões mínimos de qualidade do esgoto recebido na rede, especialmente no que se refere ao seu conteúdo de metais pesados, pois tanto a norma NBR 9800 da ABNT, quanto a resolução CONAMA 20/86 não são suficientes para garantir níveis de qualidade de lodo que permitam sua reciclagem agrícola (FERREIRA, 2001).

Já os organismos patogênicos podem ser facilmente controlados através da adoção de soluções técnicas de higienização que levem à eliminação dos patógenos presentes (FERREIRA, 2001).

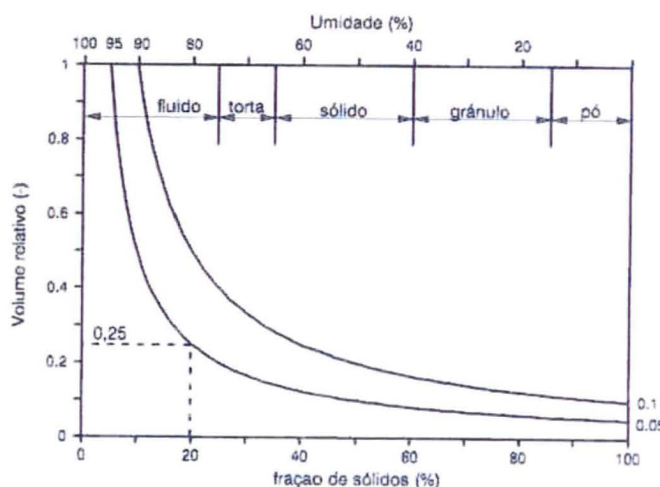
3.6 DESAGUAMENTO DO LODO DE ESGOTO

Segundo ANDREOLI e PEGORINI (1998b), o maior entrave à reciclagem agrícola do lodo é o transporte. A minimização de custos é um importante fator na escolha do procedimento de disposição final do lodo de esgoto a ser definido. O desaguamento facilita a manipulação dos lodos pela redução no teor de umidade, reduzindo custos na fase de transporte pela diminuição do volume a ser transportado, viabilizando assim seu uso agrícola (KARABOLAD *et al.*, 1998; JORDÃO e PESSÔA, 1995).

A produção e os processos de estabilização do lodo são realizados em meio líquido e geram um material com alto teor de umidade, tornando fundamental a remoção dessa água caso haja necessidade de qualquer operação subsequente ao tratamento e/ou transporte do lodo para qualquer fim (AISSE e ANDREOLI, 1999).

Os teores iniciais de água no lodo são de aproximadamente 90-95% e na medida em que a água é reduzida, o volume do lodo diminui rapidamente (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; OUTWATER, 1994), como demonstra a Figura 2.

FIGURA 2 – RELAÇÃO ENTRE O VOLUME DO LODO E A SUA FRAÇÃO DE SÓLIDOS



Fonte: VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994.

Segundo SPERLING e GONÇALVES (2001) adensamento, espessamento, desidratação ou desaguamento, são termos equivalentes, correspondentes ao processo físico de concentração de sólidos no lodo visando reduzir sua umidade e em decorrência, seu volume.

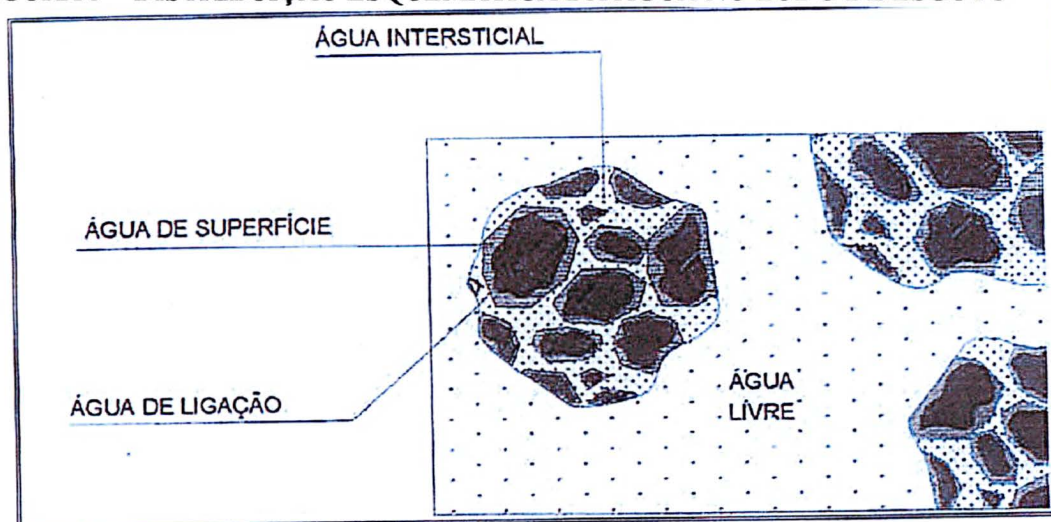
Segundo GONÇALVES e LUDUVICE (2000) a capacidade de desaguamento varia de acordo com o tipo de lodo, estando diretamente relacionada ao tipo de sólido e a forma com que a água está ligada às partículas do lodo.

De acordo com VAN HAANDEL e LETTINGA (1994); TSANG e VESILIND (1990) a água presente no lodo pode ser classificada em:

- ÁGUA LIVRE ou REMOVÍVEL:** água retida entre os flocos de maneira similar a uma esponja, não estando associada com as partículas sólidas, sendo facilmente removida por gravidade (adensamento, flotação);
- ÁGUAS CAPILARES ou INTERSTICIAIS:** mantém-se absorvida à fase sólida pela força capilar e se distingue da água adsorvida pelo fato que a força para separação tem de ser maior;
- ÁGUA ADSORVIDA ou SUPERFICIAL:** a umidade está presa na superfície das partículas sólidas por adsorção e adesão, podendo ser removida por força mecânica ou pelo uso de um floclantes;
- ÁGUA CELULAR ou de LIGAÇÃO:** esta fração é parte da fase sólida, quimicamente ligada, só pode ser removida provocando-se mudança do estado de agregação da água, isto é, através de congelamento ou evaporação.

ROBINSON e KNOCKE (1992) concluíram que a água intersticial pode ser retirada pelo uso de temperaturas constantes de 35°C. A Figura 3 ilustra a distribuição da água presente no lodo de esgoto.

FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA ÁGUA NO LODO DE ESGOTO



FONTE: TSANG e VESILIND (1990).

Segundo SPERLING e GONÇALVES (2001), o lodo é composto por sólidos e por água. Os sólidos totais (ST) dividem-se em sólidos fixos ou inorgânicos e sólidos voláteis (SV) ou orgânicos. Segundo os mesmos autores, o processo de digestão anaeróbia remove os sólidos orgânicos biodegradáveis do lodo, havendo destruição dos sólidos voláteis, a quantidade de sólidos fixos permanece inalterada.

A concentração de sólidos é expressa na forma de sólidos secos, ou seja, excluindo-se o peso da água presente no lodo. A concentração pode ser em mg/L ou em porcentagem (%):

$$\text{Concentração (\%)} \approx \frac{\text{Concentração (mg/L)}}{10.000}$$

10.000

FONTE: SPERLING e GONÇALVES (2001).

3.6.1 Formas de Desaguamento/Desidratação

Inúmeros são os processos para realizar a separação das fases sólida e líquida dos lodos, que se classificam em mecânicos, naturais e térmicos. Somente a secagem térmica do lodo é capaz de produzir um sólido verdadeiro, outros métodos produzem tortas semi-sólidas (HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Segundo SPERLING e GONÇALVES (2001) a relação entre o teor de sólidos secos e de umidade em um lodo é: $\text{Umidade (\%)} = 100 - \text{Sólidos secos (\%)}$.

3.6.1.1 Secagem mecânica

3.6.1.1.1 centrífugas

Esse processo acelera a separação sólido-líquido pela ação de uma força centrífuga (GONÇALVES *et al.*, 2001; MIKI *et al.*, 2001).

As centrífugas são equipamentos utilizados para adensamento/desaguamento de lodo, sendo a centrifugação um processo de sedimentação decorrente da diferença de densidade entre uma partícula e o líquido que a circunda (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Segundo GONÇALVES *et al.*, (2001), as principais variáveis que influenciam o desempenho de uma centrífuga são a concentração de sólidos no lodo, tipo de condicionamento, vazão de alimentação e a temperatura. Quanto maior for o grau de estabilização do lodo a ser desaguado, melhor será o desempenho da centrífuga. A Tabela 3 mostra a concentração de sólidos que podem ser atingidas em função do tipo de lodo a ser desaguado.

TABELA 3 – DESEMPENHO TÍPICO DE CENTRÍFUGAS NO DESAGUAMENTO DE LODO

Tipo de Lodo	Concentração de Sólidos Totais (%)
Lodo bruto primário	28 - 34
Lodo anaeróbio	35 - 40
Lodo ativado	14 - 18
Lodo misto bruto*	28 - 32
Lodo misto anaeróbio	26 - 30
Lodo aeróbio**	18 - 22

* lodo primário + lodo ativado excedente

** aeração prolongada ou lodo ativado excedente

FONTE: GONÇALVES *et al.*, (2001)

3.6.1.1.2 filtros a vácuo

Um filtro consiste em um tambor cilíndrico rotatório, instalado com submersão parcial em um tanque com lodo condicionado. Cerca de 10% a 40% da superfície do tambor fica submersa no tanque, fração esta que se constitui na zona de filtração ou formação da torta na parte exterior do cilindro, enquanto o líquido filtrado migra para o seu interior onde predomina o vácuo (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Segundo os mesmos autores sua utilização entrou em declínio na área do saneamento devido ao elevado consumo de energia e à baixa eficiência.

3.6.1.1.3 filtro prensa

Inicialmente o filtro prensa foi desenvolvido para uso industrial e posteriormente sofreu adaptações para ser utilizado no desaguamento do lodo, sendo mais popular na Europa (MIKI *et al.*, 2001). Os filtros são equipamentos que operam por batelada, com ciclo de 3-5 horas, o que exige a intervenção de operadores treinados e alto investimento inicial (GONÇALVES *et al.*, 2001; MIKI *et al.*, 2001).

No filtro prensa, o lodo líquido é bombeado para câmaras, envelopadas por telas filtrantes. O bombeamento faz com que a pressão aumente no espaço entre as placas e force o lodo a passar através da uma tela filtrante, neste momento os sólidos

são retidos sobre o meio filtrante, formando a torta com aproximadamente 45% de sólidos (GONÇALVES *et al.*, 2001).

3.6.1.1.4 prensa desaguadora

As prensas desaguadoras têm sido denominadas também de filtros prensa de correias, filtros de esteira ou “belt press” (GONÇALVES *et al.*, 2001).

O processo de desaguamento da prensa pode ser dividido em três etapas: zona de separação por peneiramento; zona de baixa pressão e zona de alta pressão. Na zona de separação a água livre presente no lodo, percola sob a ação da gravidade, o lodo vai para a zona de baixa pressão onde o restante da água livre é removido por suave compressão do lodo entre telas. Na zona de alta pressão o lodo é comprimido por roletes, tendo por objetivo eliminação da água intersticial, alcançando ao final do processo um lodo com aproximadamente 14-20% de sólidos (GONÇALVES *et al.*, 2001; MIKI *et al.*, 2001).

3.6.1.1.5 secagem térmica

Na secagem térmica o lodo é aquecido para promover a evaporação da água sem, contudo destruir a matéria orgânica. Porém o processo apresenta custos elevados, pois envolve utilização de combustível na geração de calor e necessita de mão-de-obra especializada (DAVID e TSUTIYA, 2000). GONÇALVES *et al.*, (2001), afirmam que a secagem térmica é um dos processos mais eficientes e flexíveis para reduzir o teor de umidade de tortas oriundas do desaguamento de lodos.

A quantidade de energia necessária para evaporar água contida no lodo é na ordem de 800 a 1.000 kcal/kg de água evaporada (DAVID e TSUTIYA, 2000). Para um lodo com teor de sólidos 30%, que se deseja secar para 90% o consumo de energia será da ordem de 670 kcal por kg de lodo, um custo de R\$ 40,00 a R\$ 50,00 (combustível) por tonelada de lodo úmido (DAVID e TSUTIYA, 2000).

Segundo LUDUVICE e FERNADES (2001), o lodo seco com 65% a 95% de sólidos pode ser utilizado como combustível de caldeiras, aquecedores industriais e fornos de cimento.

3.6.1.2 Secagem natural

O meio mais utilizado para desidratar o lodo naturalmente é o leito de secagem (PULKOW e AISSE, 1997). Lagoas de secagem para lodo são pouco utilizadas no Brasil, podendo ser utilizadas para adensamento, digestão complementar, desaguamento e até mesmo disposição final de lodos de esgoto, porém necessitam de grande disponibilidade de área (GONÇALVES *et al.*, 2001; MIKI *et al.*, 2001).

A secagem natural do lodo resulta num produto final superior ao de uma torta semi-sólida, não somente pelo teor mais baixo de água, mas também porque durante o período prolongado de exposição ao sol, certamente haverá uma considerável remoção de patógenos. Esta remoção será mais eficiente na medida em que o sol for capaz de elevar a temperatura do lodo (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Segundo DALTRO FILHO *et al.*, (1994), um lodo bem digerido apresenta características de desidratação mais rápida. A aparência do lodo seco pode determinar seu grau de digestão: (a) lodo seco com fendilhamento escasso e fino, indica lodo bem digerido e com baixo teor de água; (b) fendas numerosas, de largura mediana, indicam lodo digerido de elevado teor de água; (c) fendas em pequena quantidade e de grande largura, indicam lodo mal digerido, pegajoso, requerendo longos períodos de tempo para desidratação.

3.6.1.2.1 leito de secagem

Segundo MIKI *et al.*, (2001) os leitos de secagem são um dos métodos mais antigos utilizados para desaguamento de lodo. Os leitos de secagem convencionais são unidades que têm por objetivo desidratar o lodo por meios naturais (PULKOW e

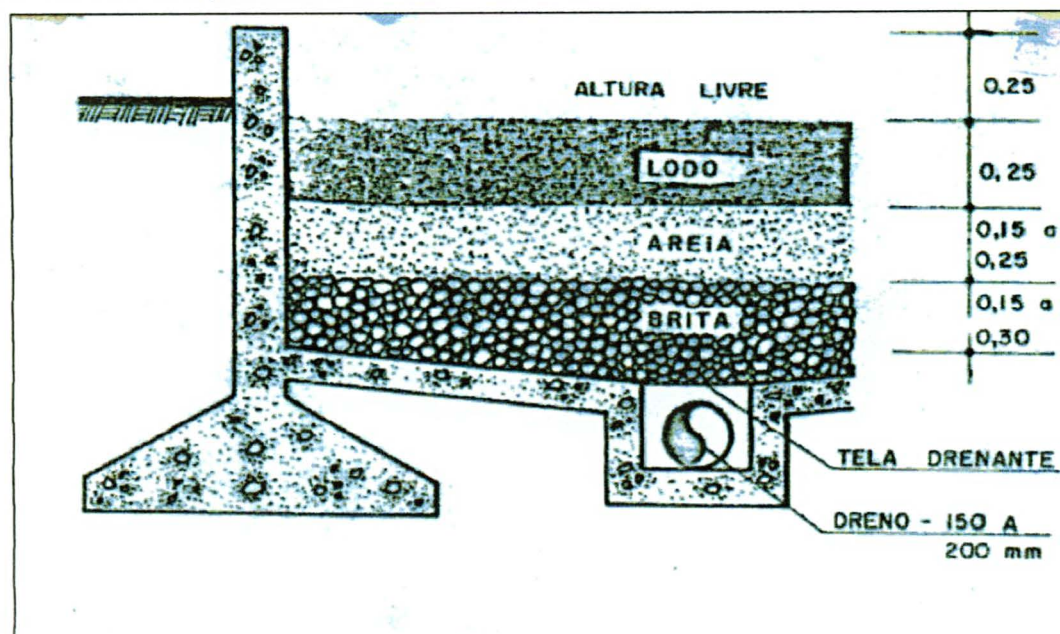
AISSE, 1997). Ideais para as pequenas e médias ETE's, pela simplicidade operacional e alta eficiência na remoção da umidade (LIMA *et al.*, 1998).

O custo de construção de leitos de secagem em geral é muito inferior ao das opções mecanizadas, portanto, os leitos de secagem sempre devem ser considerados quando a área disponível para sua implantação for suficiente (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Os leitos de secagem foram as primeiras unidades utilizadas para secagem do lodo, podendo ser ao ar livre ou então cobertos. Ao se cobrir o leito abre-se a possibilidade de se usar a energia solar para aquecer o lodo durante a secagem. Esta pasteurização solar se torna particularmente importante se o lodo seco for utilizado na agricultura (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Nos EUA cerca de $\frac{2}{3}$ das ETE's utilizam leitos de secagem para desidratação do lodo de esgoto gerado (CORDEIRO e CAMPOS, 1995).

O princípio de funcionamento dos leitos de secagem envolve basicamente duas etapas. A primeira é a fase de drenagem da água livre presente no resíduo, que é percolada através do meio filtrante. Na segunda fase o lodo fica sujeito à evaporação, onde a água que não foi drenada é removida principalmente por ação da radiação solar, dos ventos e sujeita às condições de umidade do ar, temperatura e precipitações (CORDEIRO e CAMPOS, 1995). A Figura 4 esquematiza o leito de secagem convencional comumente utilizado nas estações de tratamento de esgoto

FIGURA 4 – ESQUEMA DE LEITO DE SECAGEM CONVENCIONAL



* unidade para medida da camada drenante em metros (m)

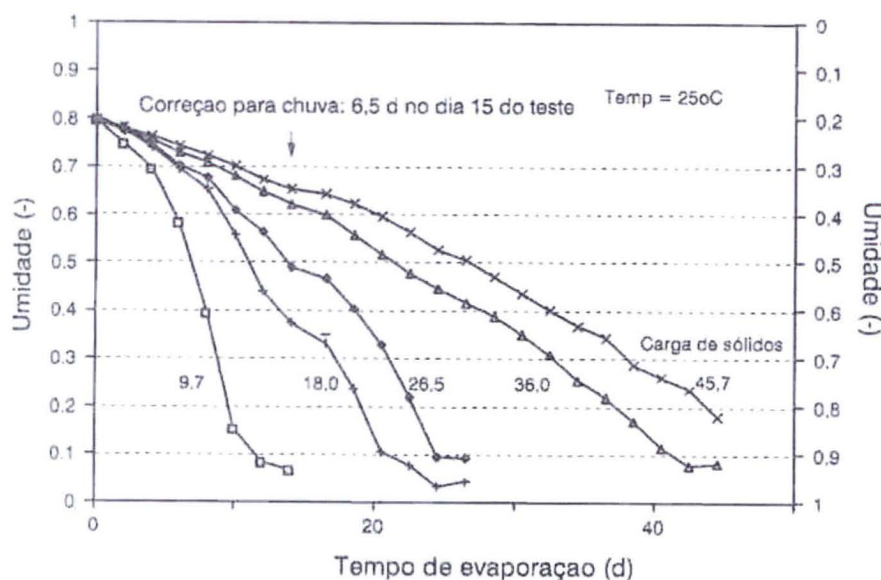
FONTE: CORDEIRO, 2000.

Nos leitos de secagem a água é removida por percolação e evaporação. A taxa de evaporação depende de vários fatores, como clima, carga de sólidos aplicada e a própria natureza do lodo, quanto mais estável o lodo, menor fração de sólidos biodegradáveis, portanto, mais facilmente será desaguado (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

O lodo digerido anaerobiamente está submetido à elevada pressão hidrostática, apresentando água intersticial saturada de gases (CO_2 e metano), com uma densidade menor que a unitária, por isso, inicialmente quando disposto em leitos de secagem o lodo apresenta características de flotação, permitindo que haja liquefação por causa da diferença aparente de peso específico do lodo e da água, tendo fácil percolação até que o lodo se deposite, tendo então a evaporação devido ao poder calorífico do lodo (DALTRO FILHO *et al.*, 1994; PULKOW e AISSE, 1997).

Grande parte da água livre presente no lodo é removida durante o curto período de percolação, porém, para se alcançar uma alta fração de sólidos é necessário um longo período de evaporação (HAANDEL e LETTINGA, 1994). A Figura 5 mostra o teor de água em função do tempo de evaporação do lodo para diferentes cargas de sólidos.

FIGURA 5 – EVAPORAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO PARA DIFERENTES CARGAS DE SÓLIDOS APLICADAS



FONTE: HAANDEL E LETTINGA (1994).

Segundo CANZIANI *et al.*, (1996), para regiões de clima úmido, os leitos de secagem descobertos são inviáveis tecnicamente. Além das características físicas do lodo, as condições climáticas também influenciam o comportamento deste processo.

A secagem natural do lodo pode promover, em determinadas situações, uma remoção considerável de organismos patogênicos, devido à exposição prolongada do material ao sol, que eleva a temperatura do lodo (HAANDEL e LETTINGA, 1994).

3.6.1.2.1.1 operação do leito de secagem

Segundo AISSE *et al.*, (1999b) o ciclo para secagem do lodo em um leito se compõe de quatro períodos diferentes:

$$T_{\text{secagem}} = T1 + T2 + T3 + T4$$

Onde:

T1: tempo para preparação do leito e descarga do lodo

T2: tempo de percolação

T3: tempo de evaporação para atingir a fração desejada de sólidos

T4: tempo para remoção dos sólidos secos

AISSE *et al.*, (1999b) ainda definem alguns parâmetros técnicos que podem influenciar a produtividade do leito de secagem, relacionada à variável tempo:

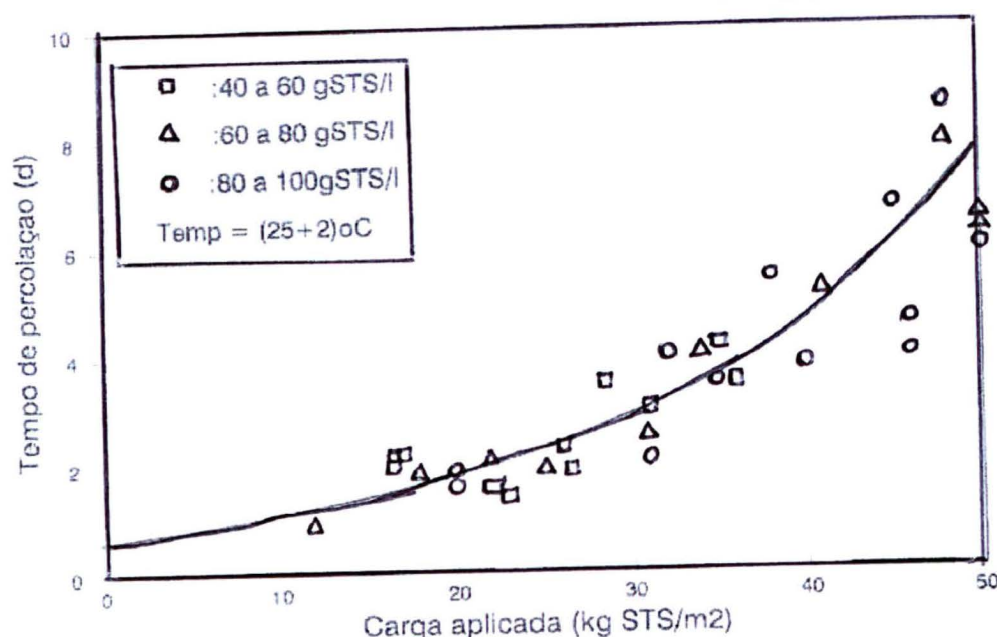
- a) Quanto mais seco o produto final, mais longo será o ciclo de secagem;
- b) Quanto maior a carga de sólidos aplicada, maior será o tempo necessário para desidratar o produto, desta forma baixando a produtividade dos leitos de secagem;
- c) Quanto melhor a estabilização do lodo, mais facilmente haverá percolação, diminuindo o período de secagem;
- d) A granulometria do leito também pode influenciar a velocidade do processo de percolação;
- e) Condições climáticas (vento, umidade relativa do ar, precipitações e temperatura).

No Brasil a regulamentação de projetos e construção de leitos de secagem, segue a NB 570 (1990), porém não existe qualquer especificação quanto ao teor de umidade final do lodo seco, nem tão pouco se determina o período ou tempo para secagem do lodo (DALTRO FILHO *et al.*, 1994).

As condições climáticas têm grande influência no período de secagem, podendo-se em climas tropicais, realizar-se 12-18 ciclos/ano enquanto em climas temperados o número de ciclos é de aproximadamente sete por ano (DALTRO FILHO *et al.*, 1994).

Na figura 6 pode-se visualizar a curva encontrada por HAANDEL e LETTINGA (1994) em experimentos realizados, onde se constatou a variação no tempo de percolação da água em leitos de secagem em função da carga de sólidos aplicada. Em trabalho realizado por CORDEIRO e CAMPOS (1995) com lodo de água, constatou-se que quanto maior a altura de lodo sobre o leito filtrante, maior o tempo para drenagem.

FIGURA 6 – PERÍODO DE PERCOLAÇÃO EM LEITOS DE SECAGEM PARA VALORES DIFERENTES DE CARGA DE SÓLIDOS INICIAL APLICADA



FONTE: HAANDEL e LETTINGA (1994).

3.7 CONTAMINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO POR AGENTES PATOGÊNICOS

A espécie humana é responsável pela manutenção da cadeia de transmissão das parasitoses intestinais, perpetuando a contaminação fecal do solo e da água, constituindo o principal mecanismo de disseminação de parasitas (CHEHTER e CABEÇA, 2001). A origem da contaminação microbiológica do lodo de esgoto se dá principalmente pelo material fecal contido no esgoto, portanto, dependente das características epidemiológicas da população que vive no local onde os efluentes são lançados na rede coletora de esgotos. No tratamento dos esgotos, durante o processo de sedimentação, grande parte dos organismos existentes no esgoto co-precipitam junto às partículas orgânicas, concentrando-se no lodo (ANDREOLI *et al.*, 1998; BONNET *et al.*, 1998; TSUTIYA, 2001).

Os microrganismos comumente encontrados no lodo podem ser saprófitas, comensais, simbiontes e parasitos (THOMAZ-SOCCOL, 1998b). Dentre os

organismos patogênicos podem ser encontrados: vírus, bactérias e parasitos (*stricto sensu*), onde a concentração dos mesmos depende do processo de tratamento utilizado e pode ser bastante variável, refletindo as condições sócio-econômicas e sanitárias da população atendida (THOMAZ-SOCCOL, 1998b; TSUTIYA, 2001).

Os organismos patogênicos presentes no lodo de esgoto podem ser transmitidos diretamente aos animais e ao homem, ao solo, corpos d'água e a produtos produzidos em solos onde o lodo foi aplicado (SANEPAR, 1998). Segundo PHILIPPI JÚNIOR (1988) o perigo de transmissão de doenças infecciosas intestinais pela água, e sua profilaxia gira em torno das seguintes medidas: proteção de mananciais contra agentes poluidores; tratamento e distribuição adequados da água; coleta e destino para os esgotos bem como o abastecimento de água potável.

A concentração dos patógenos presentes no lodo é bastante variável em função das condições geo-climáticas da região, sócio-econômicas e sanitárias da população, tendo grande relevância, no caso das helmintoses, uma vez que a dose infectiva é de apenas um ovo viável (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1998a; TSUTIYA, 2001).

As técnicas disponíveis para a quantificação de ovos de helmintos são oriundas da parasitologia médica e se baseiam principalmente no processo físico de sedimentação (KONIG *et al.*, 2001). Segundo REY (1991) e PESSÔA e MARTINS (1974) existem inúmeros métodos para quantificação e/ou viabilidade de ovos/larvas de helmintos em fezes como: Lutz, Larsh, Ritchie, Kato, Kato-Katz, Willis, Stoll, Baermann, Harada-Mori; Craig, Boeck e Drbohlav, Rugai, Weinmam, entre outros. Os métodos para identificação e contagem dos ovos são realizados através de sedimentação, flotação, filtração ou a combinação destas etapas (PASSAMANI *et al.*, 2000b). Portanto, os métodos que utilizam grandes volumes de amostras e maior percentual de recuperação seriam os mais apropriados como, por exemplo, a metodologia proposta por YANKO (1987), reconhecida pela EPA (1992) e reformulada por THOMAZ-SOCCOL *et al.*, (1998b).

3.7.1 Principais Organismos Presentes no Lodo de Esgoto

3.7.1.1 Vírus

Os vírus afetam seres humanos e animais e podem ser transmitidos através do solo, água, aerossóis ou poeira, podendo ocorrer transmissão por inalação e contato do vírus com as mucosas (SILVA *et al.*, 2001).

Os vírus não se reproduzem fora das células hospedeiras, com exceção aos reovírus e rotavírus (MENDES, 1981 citado por BONNET *et al.*, 1998).

Segundo a EPS (1984), os vírus podem ser eliminados do lodo de esgoto por tratamento térmico e pela compostagem. A radiação solar, a predação e a competição minimizam de forma efetiva as possibilidades de infecção dos vírus após a aplicação do mesmo no solo.

A dose mínima infectante é na ordem de 10^2 vírus, porém outras fontes de infecção são mais representativas que a utilização de lodo (SILVA *et al.*, 2001; TSUTIYA, 2001).

3.7.1.2 Fungos

Várias doenças podem ser causadas por fungos, sendo as mais comuns as micoses (VERONESI *et al.*, 1991).

Para redução do número de gêneros e de colônias de fungos, os tratamentos térmicos e químicos são apenas parcialmente efetivos (BONNET *et al.*, 1998).

3.7.1.3 Protozoários

Os cistos de protozoários são pouco resistentes ao estresse da desinfecção. Porém, processos de estabilização química não demonstram eficiência como neutralizantes de cistos. Já os processos biológicos são tidos como eficazes (USEPA, 1985).

Os protozoários podem causar doenças como amebíase, giardíase, entre outras. (VERONESI *et al.*, 1991). Segundo TSUTIYA (2001), a dose mínima infectante para protozoários é ao redor de 10^{-10} .

3.7.1.4 Bactérias

As bactérias presentes no lodo são de diferentes origens, como da flora intestinal humana e animal, do solo, do ar e da água (SILVA *et al.*, 2001).

As bactérias são os organismos mais frágeis aos processos de tratamento de lodos e sua incidência é bastante reduzida pela radiação solar e desidratação do lodo (BONNET *et al.*, 1998). As bactérias entéricas são extremamente sensíveis a falta de umidade, e a luz solar apresenta efeito bactericida (GERBA & BITTON in USEPA, 1992).

A transmissão da maioria das bactérias entéricas dá-se por via fecal-oral pela água e alimentos, podendo ocorrer através da inalação (SILVA *et al.*, 2001). Apesar das bactérias serem componentes característicos da flora intestinal humana e de muitos animais, algumas cepas de *Escherichia coli* podem causar diarreias, gastroenterites e infecções urinárias (HAYS, 1997).

A dose mínima infectante para bactérias pode variar de um agente patogênico para outro, porém, a dose estimada é ao redor de 10^2 - 10^6 (EPA, 1992; TSUTIYA, 2001).

3.7.1.5 Helmintos

As infecções por helmintos e enteroprotzoários estão entre os mais frequentes agravos infecciosos do mundo, com uma estimativa de 3,5 bilhões de pessoas infectadas (CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002).

Os helmintos são seres metazoários (organismos pluricelulares), de vida livre ou parasitas de plantas e animais, incluindo o homem (CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2001). Os helmintos são classificados em três filos do reino animal: *Platyhelminthes* (vermes achatados, com tubo digestivo ausente ou rudimentar); *Nemathelminthes* ou

Aschelminthes (vermes cilíndricos não-segmentados com tubo digestivo completo); *Acanthocephala* (endoparasitas de corpo segmentado, cilíndrico ou achatado, ausência dos aparelhos digestório, circulatório e esquelético), sub-reino *Metazoa* (REY, 1991).

Os helmintos de interesse sanitário no lodo de esgoto são os nematóides (classe *Nematoda*, filo *Aschelminthes*) e os cestóides (classe *Cestoidea*, filo *Platyhelminthes*) (BONNET *et al.*, 1998; COSTA, 1991; USEPA, 1992). A tabela 4 mostra as principais espécies encontradas no lodo de esgoto.

TABELA 4 - OVOS DE HELMINTOS (NEMATÓIDES E CESTÓIDES) FREQUENTEMENTE ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO

NEMATÓIDES	CESTÓIDES
<i>Enterobius vermicularis</i>	<i>Taenia saginata</i>
<i>Necator americanus</i>	<i>Taenia solium</i>
<i>Strongyloides stercoralis</i>	<i>Hymenolepis nana</i>
<i>Toxocara cati</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>
<i>Toxocara canis</i>	<i>Echinococcus multilocularis</i>
<i>Trichuris trichiura</i>	
<i>Ancylostoma sp.</i>	
<i>Ascaris sp.</i>	

FONTE: USEPA (1992); EPS (1984).

Os cestóides mais frequentemente encontrados parasitando o homem são da ordem *Cyclophyllidea*, como a *Taenia sp.*, *Echinococcus sp.* e *Hymenolepis nana* (REY, 1991). Cerca de 50 espécies de nematóides já foram registradas como parasitas do homem, sendo uma dúzia, importantes agentes causadores de doenças (REY, 1991).

Autores como CRAM & LIEBMAN in HAYS (1977) afirmam que o ambiente encontrado em processos de tratamento de esgotos é propício ao embrionamento dos ovos de helmintos. A perda de umidade eventualmente destrói ovos de helmintos e cistos de protozoários, mas algumas formas são particularmente resistentes à dessecação. Estes autores conseguiram isolar larvas ativas de *Ancylostoma spp.* e *Ascaris spp.* em lodos com umidade de 9,87% e 5,84%, respectivamente. Segundo BONNET *et al.*, (1998) o *Ascaris lumbricoides* é um nematóide de grande interesse por apresentar ovos de constituição particularmente resistente.

Um levantamento realizado nas ETE's com tratamento anaeróbio e aeróbio, THOMAZ-SOCCOL *et al.*, (1998a, 1997 e 1996) observaram variações na contagem

de ovos de helmintos de acordo com o sistema de tratamento adotado e a época do ano. A eficiência na redução na viabilidade de ovos de helmintos para o tratamento anaeróbio depende do tempo de permanência do lodo no reator e ainda das temperaturas atingidas durante o tratamento, portanto, a eficiência está relacionada às condições operacionais do RALF, onde a redução do número de ovos de helmintos pode chegar a 80%. Segundo CARRINGTON (1980) a digestão anaeróbia com temperaturas superiores a 36°C, pode inviabilizar ovos de *Ascaris sp.* e de *Taenia sp.*

CUTOLO e ROCHA (2001) constataram que no efluente final de uma estação de tratamento de esgoto, ainda podem existir ovos e larvas de helmintos como *Enterobius vermicularis*, *Hymenolepis sp.*, *Strongyloides stercoralis*, sendo ovos de menor densidade que podem flotar e agregar-se às partículas em suspensão, sendo retirados em menor quantidade pelos decantadores nas estações de tratamento e, conseqüentemente liberados juntamente ao efluente final gerado na ETE.

3.8 HELMINTOS COMO CAUSADORES DE DOENÇAS

Vários países da América Latina enfrentam sérios problemas com a alta incidência de doenças, com índices de 50-75% da população infectada por helmintos (REY, 1991). As doenças parasitárias afetam de forma mais intensa as populações desprivilegiadas que vivem em localidades marginais das grandes cidades com grandes aglomerados humanos, normalmente desprovidos de infra-estrutura sanitária mínima (BRANDRÃO *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2002; CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002).

Os fatores climáticos interferem marcadamente na transmissão de parasitoses, condicionando a existência de períodos mais ou menos favoráveis, ou interrompendo periodicamente a possibilidade de transmissão, devido a temperaturas extremas, grau de umidade, grandes precipitações, estiagem, variações de cobertura vegetal e insolação (REY, 1991; BRANDRÃO *et al.*, 2000).

Segundo CHEHTER e CABEÇA (2001), apesar das diferenças regionais, o Brasil apresenta intensa contaminação do meio, elevada prevalência das parasitoses

intestinais e homogeneidade na distribuição dos vários parasitas. Esse fato pode estar associado às condições climáticas características do Brasil, que beneficiam o desenvolvimento e disseminação das parasitoses (PESSÔA e MARTINS, 1974). Além, das condições climáticas, a frequência das parasitoses tem relação direta com as condições sócio-econômicas da população, onde ascaridíase é a infecção helmíntica mais comum em humanos (GASPARINI, 1995).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (O.M.S.), $\frac{1}{4}$ dos leitos existentes em todos os hospitais do mundo estão ocupados por enfermos, cujas doenças são causadas pela água contaminada. A diarreia, consequência de infecção intestinal, é a segunda causa de mortalidade no mundo, perdendo apenas para as doenças cardiovasculares (CHEHTER e CABEÇA, 2001).

Certos vírus, bactérias, fungos, protozoários, helmintos, artrópodes, entre outros, são capazes de invadir órgãos ou tecidos do homem, onde produzem doenças através de mecanismos variáveis (REY, 1991). No Setor de Neurocirurgia da Universidade Federal do Paraná, aproximadamente 15% dos leitos são ocupados por pacientes portadores de neurocisticercose e entre dez internações neurocirúrgicas, três são devido à neurocisticercose (ANTONIUK, 1994).

Mais do que a mortalidade resultante, as doenças infecciosas comprometem o desenvolvimento normal de crianças (déficits orgânicos) e limitam a capacidade de trabalho dos adultos (REY, 1991). As helmintoses no Brasil possuem aspecto importante na saúde pública uma vez que 40% dos exames de fezes são positivos e revelam uma ou mais espécie de helmintos (IGLÉSIAS, 1997).

A teníase e a cisticercose são doenças causadas por *Taenia*, porém, em ciclos evolutivos distintos (LINO JÚNIOR *et al.*, 1999). No Brasil a cisticercose humana adquiriu grande importância ao longo das últimas décadas, sendo relacionada aos precários hábitos higiênicos e sanitários da população (LINO JÚNIOR *et al.*, 1999). O tratamento de dejetos humanos, a melhoria das condições sanitárias, a educação da população, ou ainda o tratamento em massa da população (programa de desverminação) pode reduzir significativamente o quadro de contaminações (LINO JÚNIOR *et al.*, 1999).

Os helmintos podem invadir o sistema digestório, circulatório, linfático, respiratório ou órgãos. A invasão do hospedeiro pode ocorrer através da pele, através do contato direto com o solo contaminado com ovos ou larvas de helmintos e/ou através da boca pela ingestão de água ou alimentos também contaminados (CHEHTER e CABEÇA, 2001). O Quadro 2 mostra o índice de pessoas infectadas por parasitos intestinais no Brasil e no mundo.

QUADRO 2 – PREVALÊNCIA ESTIMADA DAS PARASITOSES INTESTINAIS (EM MILHÕES DE PESSOAS)

	No mundo	No Brasil
Ascaridíase	650	50
Ancilostomíase	460	20
Triquiuríase	350	35
Esquistossomose	200	12
Estrongiloidíase	34	--
Teníase	38	--
Giardiase	150	--
Amebíase	30	--

FONTE: CHEHTER e CABEÇA (2001).

Em São Paulo, foram encontrados ovos de parasitas até nas cédulas e moedas em circulação e no ambulatório de Parasitoses Intestinais da Unifesp-UPM numa avaliação de 1.000 pessoas assalariadas, constatou-se 628 pessoas parasitadas (CHEHTER e CABEÇA, 2001).

Na tabela 5 são apresentados os principais sintomas de doenças causadas pelos nematóides e cestóides, cujos ovos estão comumente presentes no lodo de esgoto.

TABELA 5 – PRINCIPAIS OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADOS NO LODO, HOSPEDEIROS NORMAIS, ACIDENTAIS E DOENÇAS CAUSADAS

PARASITO	HOSPEDEIRO	PRINCIPAIS SINTOMAS
Nematóides		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Homem	Distúrbios digestivos e nutricionais, vômitos, dor abdominal
<i>Ascaris suum</i>	Suíno	Distúrbios digestivos e nutricionais, emagrecimento/tosse e febre
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Homem	Anemia, emagrecimento
<i>Necator americanus</i>	Homem	Anemia, emagrecimento
<i>Trichuris trichiura</i>	Homem	Diarréia, anemia, perda de peso, dor abdominal
<i>Toxocara canis</i>	Cães e homens	Emagrecimento, diarréia, febre, desconforto abdominal, sintomas neurológicos
<i>Trichostrongylus axei</i>	Bovinos, eqüinos e homens	Gastrite, úlcera gástrica
Cestóides		
<i>Taenia solium</i>	Homens e suínos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dores abdominais, sintomas nervosos e emagrecimento
<i>Taenia saginata</i>	Homens e bovinos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dores abdominais, emagrecimento
<i>Hymenolepis nana</i>	Homem e artrópodes	Diarréia e sinais nervosos
<i>Hymenolepis diminuta</i>	Roedores e artrópodes	Distúrbios digestivos
<i>Echinococcus granulosus</i>	Cães, ovinos e homens	Distúrbios digestivos, hepáticos e pulmonares

FONTE: THOMAZ-SOCCOL (1998b).

3.8.1 Ascaridíase e Verminoses

O *Ascaris lumbricoides* é um nematóide considerado como o mais cosmopolita dos parasitos humanos (REY, 1991), sendo a infecção helmíntica mais comum do mundo (BINA, 1991; IGLÉSIAS, 1997).

De acordo com REY (1991) o *Ascaris* pertence à superfamília *Ascaridoidea*, família *Ascarididae*, subfamília *Ascaridinae* e gênero *Ascaris*.

As fêmeas fecundadas produzem aproximadamente 200.000 ovos/dia ainda não embrionados, que são liberados com as fezes para o ambiente, onde ocorrerá a maturação das larvas no interior dos ovos em condições ótimas de temperatura e umidade, tendo seu desenvolvimento completo em até três semanas, quando o ovo passa a ser infectante para o homem (REY, 1991; UFRGS, 2001). Os ovos de *Ascaris*

sp. possuem membranas lipídica, quitinosa e protéica muito resistentes com células germinativas no interior (REY, 1991; BINA, 1991). Já os ovos de *Trichuris trichiura* apresentam membrana lipídica (casca), massa mucóide com células germinativas no interior (REY, 1991; PUC-RS, 2002).

A maturação das larvas até o estágio infectante ocorre por completo no interior do ovo (*Ascaris sp.*, *Enterobius vermicularis* e *Trichuris trichiura*), onde a larva permanece até que o mesmo seja ingerido pelo hospedeiro (CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002). No intestino a larva penetra na mucosa, seguindo pela circulação sanguínea ou migração visceral, passando obrigatoriamente pelo fígado e pulmão (REY, 1991; UFRGS, 2001). No caso de *Enterobius vermicularis* e *Trichuris trichiura*, habitualmente não ocorre invasão das mucosas, onde a larva desenvolve-se até o estágio adulto sem deixar a luz intestinal (CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002).

Em outras espécies como o *Necator americanus*, a maturação da larva até o estágio infectante continua após sua liberação pela eclosão espontânea dos ovos. As larvas penetram ativamente através da pele, ganhando a circulação venosa, e encaminhando-se através dela aos pulmões (REY, 1991; CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002). Nos pulmões, as larvas desenvolvidas (maturadas) migram até a orofaringe para a deglutição, juntamente com as secreções respiratórias, evoluindo na luz intestinal até a forma adulta (REY, 1991; GATE, 2001; CASTIÑEIRAS e MARTINS, 2002).

Frente aos fatores desfavoráveis no meio como temperatura e umidade, alguns parasitas desenvolveram mecanismos de sobrevivência especiais como dormência, ou seja, uma parada no desenvolvimento através da redução de atividade metabólica (REY, 1991).

3.8.2 Teníase

Teníase é o parasitismo humano causado por cestóide do gênero *Taenia*, espécies *Taenia solium* e *Taenia saginata*, vermes chamados vulgarmente de “solitária” (CAMPOS, 1991).

As tênias não ovipõem, as proglotes grávidas de *T. solium* desprendem-se unidas em número de duas a seis e são expulsas junto às fezes, diferentemente da *T. saginata* que libera as proglotes ativamente e isoladamente, onde raramente ocorre rompimento do anel no interior do intestino (CAMPOS, 1991). Os ovos de tênia possuem membrana externa formada por bastonetes de natureza quitinosa (REY, 1991; IGLÉSIAS, 1997). Três meses após sua ingestão, a tênia começa a soltar 5-6 anéis por semana, cada um com 40 a 80 mil ovos (REY, 1991; ANTONIUK, 1994). Porém PESSÔA e MARTINS (1974) afirmam que a *Taenia saginata* pode produzir 400 mil ovos/dia. Os ovos de *Taenia sp.* são esféricos, constituídos por membrana radiada espessa e pelo embrião (REY, 1991; PUC-RS, 2002).

A contaminação humana por *Taenia saginata* ocorre pela ingestão de carne bovina crua ou mal cozida, infectada pelo *Cysticercus bovis* (GATE, 2001). Já a contaminação pela *Taenia solium* ocorre pela ingestão da larva *C. cellulosae* na carne crua ou mal cozida de suíno e seus derivados (GATE, 2001). Portanto, o ciclo evolutivo exige a presença de hospedeiro intermediário específico (CAMPOS, 1991). A relevância da *Taenia solium* é devido à possibilidade de suas larvas alojarem-se acidentalmente nos tecidos humanos, especialmente cérebro, língua, olhos e músculos causando a cisticercose (LINO JÚNIOR *et al.*, 1999; BONNET *et al.*, 1998).

Segundo CAMPOS (1991) e REY (1991), existe uma dificuldade de se detectar ovos de *Taenia sp.* em exames de fezes, pela irregularidade de liberação das proglotes. Os ovos deste helminto, são liberados somente pela ruptura da proglote ou decomposição das suas estruturas.

3.8.3 Cisticercose

Cisticercose é a infecção causada pela larva de *Taenia solium* após a ingestão dos ovos desta, conhecida também por *Cysticercus cellulosae* (IGLÉSIAS, 1997).

A cisticercose humana ocorre somente pela ingestão de ovos de *Taenia solium* (BONNET *et al.*, 1998). No estômago o suco gástrico exerce ação sobre a casca do ovo e no intestino delgado sofre ação dos sucos pancreáticos, liberando os embriões que se fixam nas vilosidades intestinais (ANTONIUK, 1994). Depois de alcançar os

vasos intestinais, os parasitos são arrastados pela corrente circulatória e levados aos pontos mais diversos do organismo (REY, 1991).

Segundo TAKAYANAGUI (1994), a cisticercose no Brasil é endêmica em vários Estados como São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Paraná, embora não se conheça sua real prevalência, em virtude dos estudos existentes não serem sistematizados e não abrangerem todas as regiões do mesmo país (VERONESI *et al.*, 1991). O Estado do Paraná está entre os considerados endêmicos, com alto risco para o desenvolvimento da doença (PAZ, 1994).

3.9 PROCESSOS DE DESINFECÇÃO/HIGIENIZAÇÃO PARA O LODO DE ESGOTO

Segundo HAANDEL e LETTINGA (1994) os sistemas de tratamento biológicos não são suficientes para a remoção dos organismos patogênicos, daí a necessidade de se efetuar uma ação desinfectante adicional.

A estabilização biológica pode resolver o problema de odores, porém o nível de patógenos no lodo ainda pode se manter elevado. Portanto, é necessária uma estabilização (higienização) suplementar (FERNANDES, 1998a). A redução na densidade de patógenos presentes no lodo é o resultado de um conjunto de processos físicos, químicos e microbiológicos, fundamental se a alternativa para a disposição final do lodo for à reciclagem agrícola (PASSAMANI *et al.*, 2000a).

A digestão aeróbia, anaeróbia termófila, compostagem, radiação beta e gama, pasteurização, tratamento térmico e caleação são processos/tratamentos adotados para higienização do lodo. Devido aos altos custos, os tratamentos mais utilizados são a digestão anaeróbia e aeróbia, compostagem e tratamento com a cal (caleação). O fundamento destes processos é a estabilização (oxidação) de substâncias orgânicas por microrganismos ou por agentes químicos (THOMAZ-SOCCOL, 1998b).

Segundo GONÇALVES (1998) e FERREIRA (2001), a secagem e a higienização térmica do lodo pelo uso do biogás mostrou-se vantajosa em relação a caleação por não agregar volume ao mesmo, suprimindo ainda a limitação para disposição na agricultura em solos que já possuem pH dentro da normalidade (faixa

recomendada para espécie a ser cultivada). A caleação eleva o pH do lodo, funcionando até mesmo como um corretivo para acidez de solos (ANDREOLI, 1999).

O tratamento de lodos por digestão à temperaturas mesofílicas (até 34°C) não elimina os ovos de helmintos, que resistem também à dessecação em leitos de secagem. Porém REIFF (1994) constatou eliminação de até 97% de ovos do lodo de esgoto após digestão anaeróbia.

Segundo trabalho realizado por PASSAMANI *et al.*, (1999), um reator do tipo UASB apresentou uma eficiência de 79% na remoção de ovos de helmintos, confirmando a tendência dos ovos ficarem sedimentados no leito do reator UASB e retidos por adsorção no biofilme formado nas bilhas de poliestireno do reator.

Não basta avaliar apenas o aspecto quantitativo da presença de ovos de helmintos em lodos de esgoto. O aspecto qualitativo relativo à viabilidade é de grande importância epidemiológica (ZERBINI *et al.*, 1999).

Segundo BONNET *et al.*, (1998), o tempo de sobrevivência dos ovos de helmintos no ambiente depende da umidade, luz do sol e vários outros fatores ambientais. A exposição à dessecação pelo sol, a competição e a predação da fauna edáfica parece ser um eficiente fator de eliminação desses parasitas nos solos agrícolas (EPS, 1984). A Tabela 6 mostra a relação entre temperatura e tempo para eliminação de alguns patógenos.

TABELA 6 - TEMPERATURA E TEMPO DE EXPOSIÇÃO REQUERIDA PARA ELIMINAÇÃO DE ALGUNS PATÓGENOS E PARASITAS

ORGANISMO	OBSERVAÇÕES
<i>Salmonella sp.</i>	Morte em 30 min entre 55-60°C e em 20 min acima de 60°C
<i>Shigella sp.</i>	Morte em 1 hora a 55°C
<i>Escherichia coli</i>	Grande parte com morte em 1 hora a 55°C e entre 15-20 min acima de 60°C
<i>Entamoeba histolytica</i>	Morte em poucos minutos a 45°C e poucos segundos a 55°C
<i>Taenia saginata</i>	Morte em poucos minutos a 55°C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 min a 54°C
<i>Necator americanus</i>	Morte em 50 min a 45°C
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Morte em menos de 1 hora a temperatura acima de 50°C

FONTE: TCHOUBANOGLIOUS *et al.*, (1993).

Conforme estudos da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1985), o tempo de sobrevivência máximo de patógenos no solo é de 75 dias

para bactérias, 12 dias para vírus, oito dias para protozoários e 7 anos para ovos de helmintos. Por este motivo, esse último grupo de agentes patogênicos é o mais cuidadosamente observado para o processo de reciclagem agrícola, pois além da sua grande capacidade de sobrevivência, apenas um ovo viável de helminto é suficiente para infectar seu hospedeiro (BONNET *et al.*, 1998; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1996).

Em trabalho realizado por WEGELIN *et al.*, (1994) observou-se a interação entre a radiação solar e a temperatura para desinfecção da água. Estes autores conseguiram reduzir em 99,9% a população de enterovírus após 42 minutos de exposição solar, com temperatura da água em 40°C. Para a mesma água com condições similares de radiação e temperatura de 20°C, foram necessários 150 minutos para atingir o mesmo grau de inativação, concluindo que a temperatura sozinha não é capaz de inativar vírus, porém amplifica o efeito da radiação. REED (1997), citado por BRANDÃO *et al.*, (2000), sugere que outros fatores podem estar envolvidos na inativação dos organismos patogênicos, como a anaerobiose da água, onde existe transformação do oxigênio dissolvido em ozônio (O₃), devido à influência da radiação.

3.10 ENERGIA SOLAR

No mundo contemporâneo a demanda energética tende a um crescimento vertiginoso. Para atender as necessidades humanas, têm-se buscado na natureza e em seus elementos, alternativas energéticas adequadas para atender a crescente demanda por energia (BEZERRA, 2001).

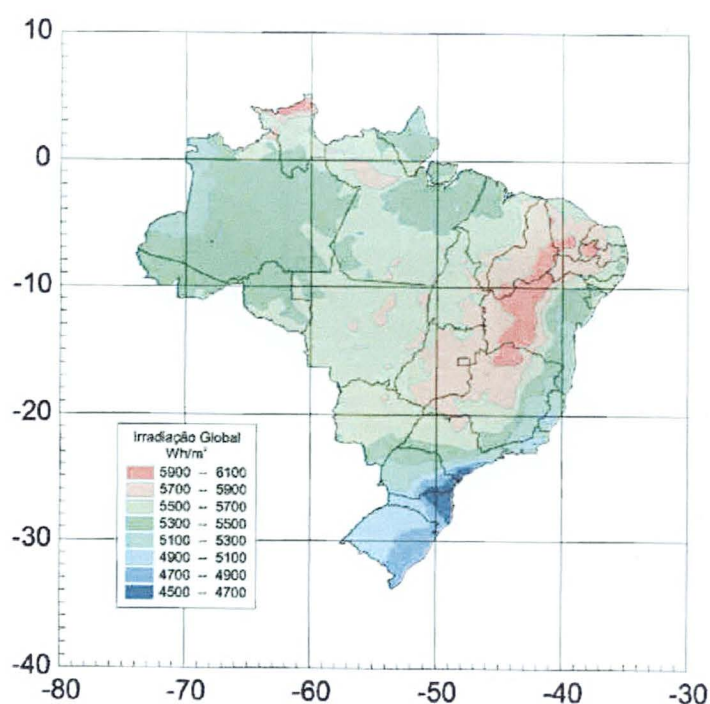
A fonte primária de energia da biosfera no nosso planeta é a luz solar, sendo geradora de calor e radiação UV (SOUZA *et al.*, 1999). A terra se encontra a 150 milhões de quilômetros de distância do sol, de forma que somente 1.367 dos 72 milhões watts/m², chegam diariamente em nossa órbita (CPTEC, 2001).

A energia solar é uma fonte inesgotável e gratuita, podendo representar uma solução para os problemas de escassez de energia que abalam o mundo. Estima-se que a quantidade de energia solar que atinge a superfície da terra a cada ano é equivalente

a mais de dez vezes os recursos mundiais prováveis de combustíveis fósseis e urânio e mais de quinze mil vezes o consumo anual de energia em todo o mundo (REIS, 1994).

Nos países tropicais e subtropicais como é o caso do Brasil, a radiação solar se faz presente em quantidade e qualidade, superiores a qualquer país na terra (BEZERRA, 2001). A Figura 7 ilustra a irradiação média anual típica para o Brasil em Wh/m^2 .

FIGURA 7 – IRRADIAÇÃO MÉDIA ANUAL TÍPICA PARA O BRASIL NOS ANOS DE 1995 A 1998



FONTE: MONTENEGRO (2000).

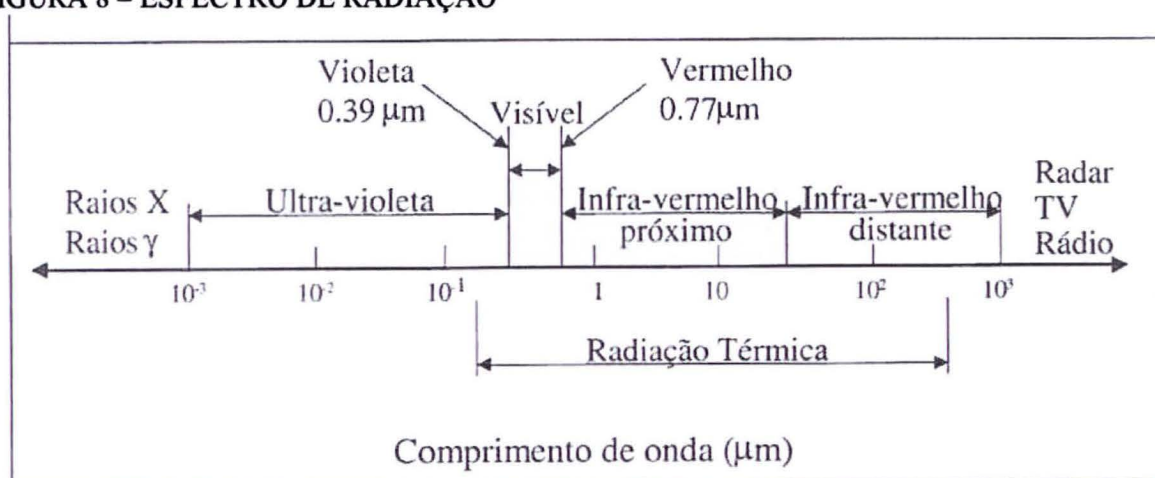
A energia solar recebida pela terra varia em função da curvatura do globo terrestre, inclinação do eixo de rotação e movimento de translação, que determinam as estações do ano, conforme isotérmicas (médias) maiores no equador (2.500 kWh/m^2 . ano), decrescendo em função da curvatura da terra até 500 kWh/m^2 .ano, nas regiões polares, sofrendo influência dos mares, ventos, superfícies sólidas e distâncias orbitais (ELOGICA, 2002).

Segundo INFOLINK (2001), o sol emite uma ampla faixa de radiação eletromagnética que inclui o infravermelho, a luz visível e o ultravioleta (UV), que se

divide em UVA (com comprimentos de onda variando de 320 a 400 nm), UVB (290 a 320 nm) e UVC (10 a 290 nm). Os únicos comprimentos de onda da radiação UV que alcançam a superfície da terra estão na faixa que compreende o UVA e UVB uma vez que aproximadamente 30% da radiação é absorvida pela atmosfera antes de atingir a superfície da terra (CPTEC, 2001).

Segundo ABREU (2000) a radiação eletromagnética pode ser dividida em intervalos de acordo com o comprimento de onda. A radiação solar é uma radiação de onda curta (0,3 a 3 μm), sendo que 95% da energia que chega do sol está no intervalo de 0,3 a 2,4 μm (ABREU, 2000). A Figura 8 abaixo esquematiza o espectro de radiação, com os respectivos comprimentos de onda.

FIGURA 8 – ESPECTRO DE RADIAÇÃO



FONTE: ABREU (2000).

O efeito bactericida da luz solar é bastante conhecido (BERNARDES *et al.*, 1999). A eficácia da desinfecção depende do comprimento de onda, sendo a faixa ultravioleta, a mais importante no processo (KOLLER, 1952). Já DAVIES-COLLEY *et al.*, (1997) verificaram que outros comprimentos de onda também são eficazes para inativação de microrganismos em lagoas de estabilização para tratamento do esgoto doméstico.

De acordo com SOUZA *et al.*, (1999), o componente da radiação solar mais efetivo na destruição de microrganismos parece ser a radiação UV na faixa de 320 a 300 nm (UV-A), e, em menor grau, a luz violeta e azul (400-490 nm), porém a sinergia

entre ambas contribui para inativação dos microrganismos. A taxa de inativação dos microrganismos cresce com a magnitude do aumento do comprimento de onda, na seguinte ordem: luz visível < UV-A < UV-B < UV-C (SOUZA *et al.*, 1999).

3.10.1 Solarização

Nos dias de hoje para se evitar a degradação do meio ambiente, de forma a satisfazer às necessidades humanas no presente e no futuro, um dos desafios é a redução da utilização de produtos químicos, o que implica no maior uso de processos biológicos nos sistemas agrícolas e menor uso de insumos, como pesticidas. A solarização (aquecimento solar) é um método de desinfestação do solo, utilizado para controle de fitopatógenos, plantas daninhas e pragas, que consiste na cobertura, com um filme plástico transparente, do solo em pré-plantio, preferencialmente úmido, durante o período de maior radiação solar (NETHER, 2000).

A solarização é um método econômico e de fácil aplicação, sem deixar resíduos, não utiliza produtos químicos que poderiam alterar a constituição do solo ou até mesmo contaminá-lo (SILVA e RIBEIRO, 2000).

A solarização foi desenvolvida inicialmente em Israel na década de 70 e mais tarde utilizada com sucesso em outros países, para controle de infestantes do solo através do aumento da temperatura (KATAN, 1994).

Segundo BERNARDES *et al.*, (1999) a radiação solar pode ser convertida em energia calorífica, onde o grau magnitude dessa variação de temperatura contribuiu para a desinfecção da água exposta à radiação solar. A solarização pode eliminar ou limitar muitos patógenos sem destruir antagonistas como fungos dos gêneros *Trichoderma* e *Talaromyces* e bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e outros (BORGES, 1994).

A solarização é um processo que consiste na disposição sobre o solo de um filme de polietileno transparente, de espessura reduzida (30-50 μm), permitindo assim a passagem dos raios solares e promovendo de forma mais eficiente o efeito estufa e conseqüente aquecimento do solo (SILVA e RIBEIRO, 2000). Plásticos mais espessos

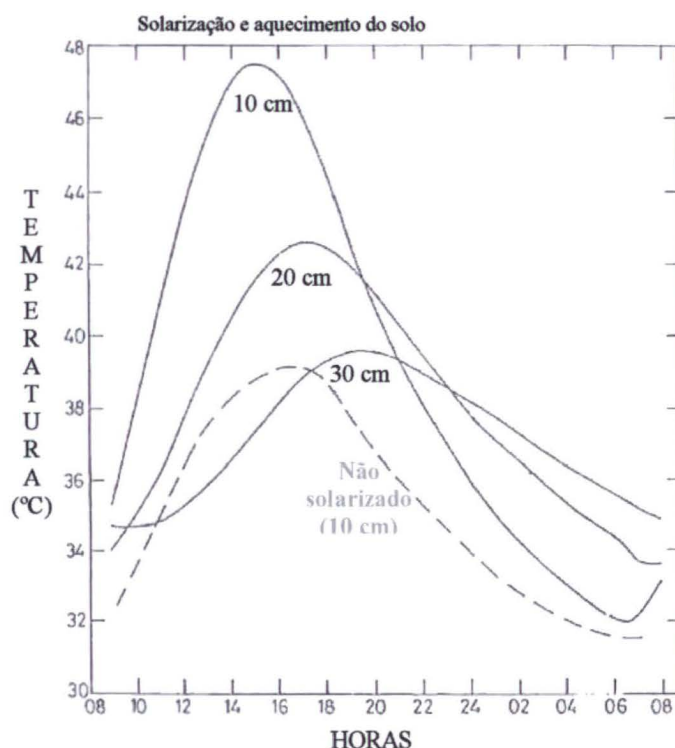
podem ser utilizados, porém com custos maiores (GHINI, 1997). Os filmes de outras cores, segundo NETHER (2000), não são recomendados por não serem tão eficientes na elevação da temperatura no solo como os plásticos transparentes.

Segundo REIS *et al.*, (1999), a radiação solar atravessa o filme plástico transparente, convertendo-se em energia calorífica, gerando vapores que podem alcançar 50°C, temperatura suficiente para eliminar os principais microrganismos presentes no solo como bactérias, fungos, vírus e nematóides. GHINI (1997); PINTO e MORAIS (2000), recomendam realizar a solarização durante o período de maior intensidade de radiação solar, tendo a duração do tratamento de 20 a 60 dias.

A umidade no solo aumenta a condutividade calorífica do solo, das camadas superficiais para as mais profundas, favorecendo o seu aquecimento em maior espessura (KATAN, 1980). BORGES (1994) afirma que além do calor e umidade, a solarização é reforçada pelo aumento na concentração de voláteis liberados pela atividade biológica do solo que ficam acumulados devido à baixa permeabilidade do polietileno.

KATAN (1994) representa graficamente as temperaturas atingidas pelo solo solarizado nas diferentes profundidades e horários do dia. Experimento conduzido nos meses julho-agosto em Israel (FIGURA 9).

FIGURA 9 – TEMPERATURAS ALCANÇADAS NO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES, COMPARADAS COM O SOLO NÃO SOLARIZADO



FONTE: KATAN (1994).

PINTO (1994) verificou em experimento de solarização no solo que as maiores temperaturas eram atingidas e mantidas nas camadas mais superficiais do perfil, onde temperaturas acima de 45°C foram alcançadas somente nos primeiros 5 cm do perfil, por apenas 1 hora, num período de avaliação de 54 dias.

KATAN (1994) faz menção do número de dias necessários para inviabilizar 90-100% de *Verticillium dahliae*, fungo comumente presente em solos, conforme apresentado na Tabela 7. A inviabilização está diretamente relacionada à profundidade do perfil no solo. Quanto mais profundo o perfil, maior será o período necessário de solarização para eliminação do fungo.

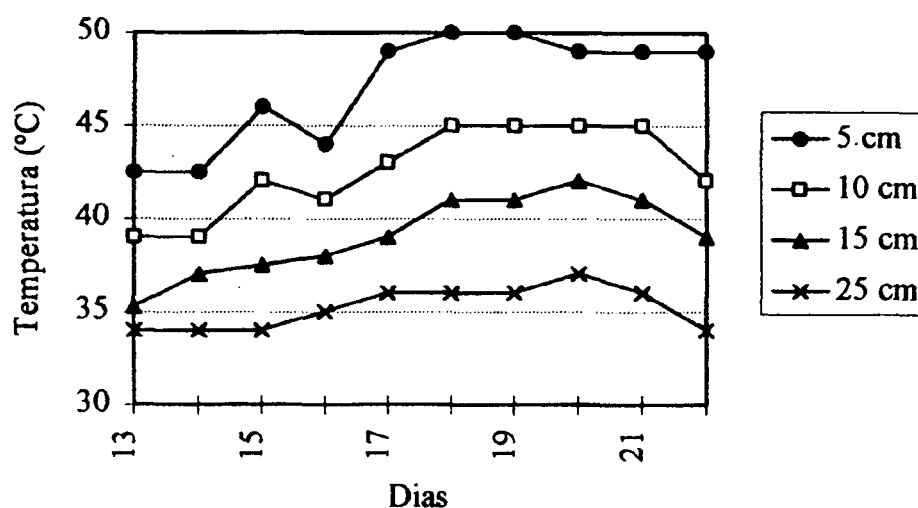
TABELA 7 – NÚMERO DE DIAS NECESSÁRIOS PARA ELIMINAR 90-100% DE *Verticillium dahliae* NO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.

Profundidade (cm)	Dias
10	3-6
30	14-20
40	20-30
50	30-42
60	35-60
70	35-60

FONTE: KATAN (1994).

A Figura 10 ilustra a afirmativa de GHINI (1997), concordando com KATAN (1994), que a cobertura do lodo com filme plástico transparente promove elevação da temperatura do solo pela energia solar, em repetidos ciclos diários. Quanto maior a profundidade, menor será a temperatura alcançada.

FIGURA 10 – TEMPERATURA DO SOLO SOLARIZADO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES



FONTE: GHINI (1997).

A inativação térmica de diversos patógenos segue, de modo geral, o modelo exponencial, de forma que, quanto menor a temperatura, torna-se necessário um tempo maior de exposição para ocorrer a inativação das estruturas do patógeno. Por esse motivo, o filme plástico deve ser mantido no solo por um período suficiente para que haja a inativação dos patógenos (GHINI, 1997).

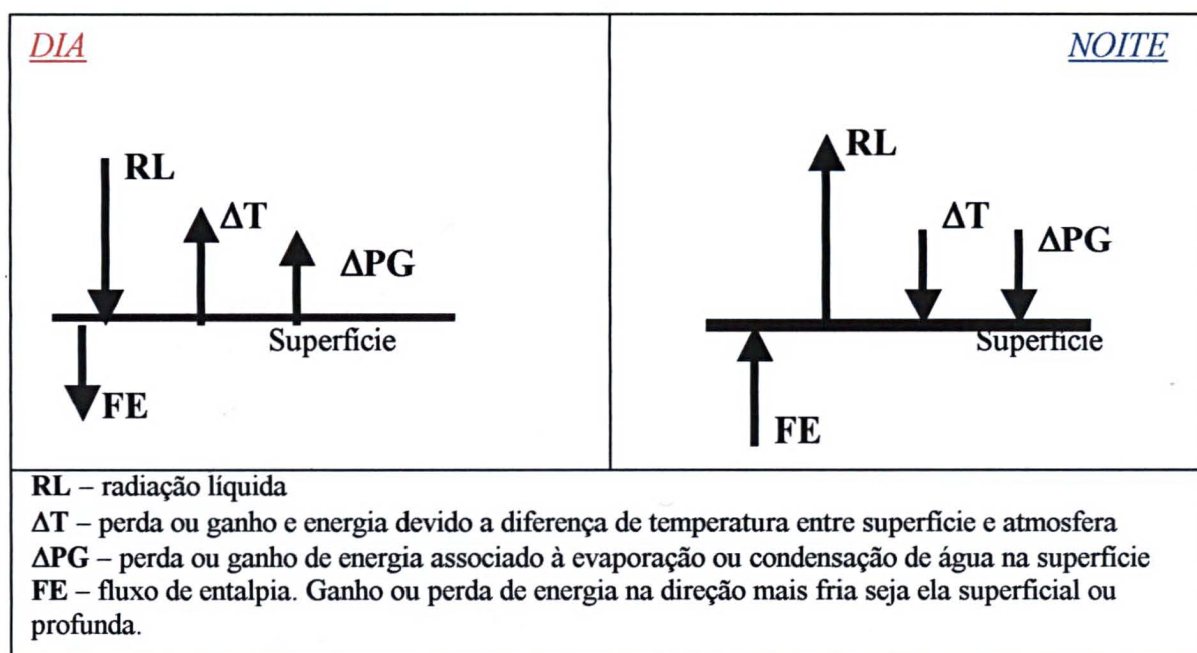
Em trabalho realizado por BORGES (1994) observou-se uma redução de 95% de infestantes (fungos, nematóides e vírus) do solo no período de verão e 75% no outono/inverno.

Os processos como a compostagem e a solarização têm como principal vantagem a economia de energia, porém, o tempo relativamente longo para sua execução, a desuniformidade do tratamento e a pouca garantia de eficácia são grandes desvantagens dos processos na desinfecção de substratos para produção de mudas (SILVA *et al.*, 1998).

Segundo ABREU (1994) a eficiência da solarização depende de três aspectos: condições climáticas, sendo necessários valores elevados de radiação solar para se atingir elevadas temperaturas no solo; tipo de cobertura do solo, onde o balanço energético da superfície determina a proporção de energia que poderá contribuir para o seu aquecimento e as propriedades do solo, pois algumas características podem afetar a propagação de energia térmica.

Em estudo pioneiro com uso da solarização para higienização do lodo de esgoto, FERREIRA (2001), aos 28 dias de experimento, alcançou redução de 87% no número de ovos de helmintos viáveis no lodo anaeróbio solarizado, com temperatura média na massa de lodo ao redor de 30°C e teor de sólidos próximo a 30%.

ABREU (1994) explica o balanço energético na superfície de solos típicos para situação diurna ou noturna no esquema abaixo:



FONTE: ABREU, 1994.

Na solarização pretende-se aumentar o FE (fluxo de entalpia) durante o dia e reduzi-lo durante a noite, de forma a que o armazenamento de energia no solo subsuperficial ao fim de cada ciclo dia/noite seja positivo, ocorrendo um aquecimento progressivo e substancial do solo, bem como diminuir ΔT e ΔPG que contribuirão para o aumento da temperatura, tendo a cobertura plástica como barreira para perdas de temperatura e evaporação. A cobertura plástica também tem importância à noite por diminuir o resfriamento radiativo do solo e, portanto, a perda de energia armazenada durante o dia (ABREU, 1994).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O aparato experimental foi instalado nas dependências da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Guaraituba, situada no município de Colombo-PR, região metropolitana de Curitiba.

A região apresenta clima Cfb, segundo classificação de Koeppen, caracterizado como mesotérmico úmido, com temperaturas médias de 22°C para os meses mais quentes e inferiores a 18°C nos meses mais frios, apresentando geadas frequentes e severas, sem estação seca, com latitude de 25°21' e longitude de 49°10' à uma altitude de 935 metros (IAPAR, 1978).

4.2 PROCEDÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DO LODO

O lodo utilizado no experimento foi oriundo do tratamento anaeróbio de esgotos, digerido em Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF).

A ETE Santa Quitéria, onde o lodo foi produzido, utiliza oito reatores anaeróbios com volume total de 16.000 m³ e com capacidade para atender 198.000 habitantes (população de projeto), no entanto, atualmente não está funcionando com sua capacidade total, uma vez que a mesma teve o início de sua operação em agosto de 1998 e está trabalhando aproximadamente com 30% da sua capacidade (população equivalente).

A vazão média de entrada para esgoto no mês de março de 2001 foi de 234,44 L/s, com pH(influente) de 7,20 e tempo de detenção aproximado de 18 horas, porém o tempo de detenção médio para a ETE é de 4-12 horas.

O lodo foi transportado por caminhões limpa-fossa (FIGURA 11) até a ETE-Guaraituba, local onde o experimento foi conduzido. Ambas ETE's se localizam na

região metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná à uma distância aproximada de 25 quilômetros entre si.

FIGURA 11 – TRANSPORTE E DESCARGA DO LODO POR CAMINHÃO LIMPA-FOSSA



Todo lodo utilizado no experimento foi proveniente de uma única partida, disposto nos leitos de secagem (unidades experimentais), tendo um teor médio inicial de sólidos de 10,88% destes, 53,40% correspondem aos sólidos fixos (cinzas), demonstrando uma alta estabilização, provavelmente em função do grande tempo de permanência do lodo dentro do reator (retenção celular).

Cada carga de lodo foi igualmente distribuída nos sete leitos de secagem, visando melhor homogeneização do mesmo.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em primeiro de fevereiro de 2001, na Estação de Tratamento de Esgoto Guaraituba, pertencente à SANEPAR, segundo delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos e três repetições, com exceção da testemunha que contou com apenas uma parcela, totalizando sete parcelas.

Tratamentos adotados:

- Tratamento 1 – **Secagem + Solarização**
- Tratamento 2 – **Solarização + Secagem**
- Tratamento Controle – **Testemunha** (Leito de Secagem Convencional)

O tratamento Testemunha contou com apenas uma parcela devido, principalmente, a limitação do equipamento utilizado para monitoramento da temperatura que contava com apenas 16 pontos para leitura. A Figura 12 mostra parcialmente o aparato experimental e os diferentes tratamentos.

4.1.1 Descrição dos Tratamentos

Testemunha: lodo retirado do RALF e disposto em leito de secagem convencional pelo período de 60 dias.

Tratamento 1 – Secagem + Solarização: lodo retirado do RALF e disposto em leito de secagem convencional por período de 30 dias. Após este período o leito de secagem foi coberto por filme plástico por um período de mais 30 dias.

Tratamento 2 – Solarização + Secagem: lodo retirado do RALF e disposto em leito de secagem coberto por filme plástico por período de 30 dias. Após este período o filme plástico foi retirado, permanecendo o lodo no leito de secagem sem cobertura alguma, por um período de mais 30 dias.

Nos tratamentos, o termo “secagem” refere-se ao lodo dentro dos leitos sem cobertura/proteção alguma. Já a “solarização” designa a cobertura do lodo com um filme plástico transparente, disposto diretamente sobre o lodo contido em leitos de secagem.

Para a solarização foi utilizado filme plástico transparente com 100 µm de espessura, mesmo tipo de plástico utilizado na construção de estufas para casas de vegetação. Conforme GHINI (1997), a principal característica do plástico deve ser a transparência, permitindo assim a passagem dos raios solares, promovendo o efeito estufa.

FIGURA 12 – VISÃO PARCIAL DO APARATO EXPERIMENTAL



Cada parcela foi composta por um leito de secagem ($5\text{m} \times 5\text{m} \times 0,5\text{m}$ altura), com capacidade para acondicionar aproximadamente 12 m^3 de volume, porém, foram utilizados apenas 8m^3 de lodo por parcela.

O lodo alcançou uma altura aproximada de 32 cm, com uma massa de sólidos totais de 864 Kg por parcela. A taxa de sólidos totais utilizada foi de $34,5\text{ kg.ST/m}^2$, levando em consideração a dimensão do leito (25m^2) e o teor de sólidos médio inicial do lodo (10,80%).

Foram utilizados dois filmes plásticos para cada leito, medindo $6\text{m} \times 3\text{m}$ cada um. Esse procedimento foi necessário devido à presença dos sensores para monitoramento da temperatura que foram instalados no centro do leito.

O filme plástico foi colocado diretamente sobre o lodo para o tratamento Solarização + Secagem, com o lodo apresentando um teor médio de sólidos totais de 17,18%. O plástico não foi colocado imediatamente à descarga para que houvesse percolação de grande parte da água livre presente no lodo. Segundo GONÇALVES e LUDUVIC (2000) a drenagem é responsável pela eliminação da maioria do líquido nas primeiras 72 horas, portanto, colocou-se o filme plástico aproximadamente 60 horas após a descarga, garantindo assim que a perda de água por evaporação fosse pequena em relação a perda por drenagem, acelerando o aquecimento da massa de lodo, pela redução na quantidade de água presente. A Figura 13 ilustra a colocação dos plásticos sobre o lodo.

FIGURA 13 – INSTALAÇÃO DO FILME PLÁSTICO SOBRE O LEITO DE SECAGEM



Quando o plástico foi colocado sobre o lodo no tratamento Solarização + Secagem, o mesmo já tinha reduzido seu volume em aproximadamente 28%, uma vez que a altura inicial do lodo era de 32cm e baixou para 23cm, após 3 dias. O plástico foi retirado após 30 dias. A partir desta data o lodo ficou descoberto (secagem convencional).

Para o tratamento Secagem + Solarização, os filmes plásticos foram reutilizados do tratamento Solarização + Secagem, sendo lavados e então dispostos sobre os leitos de secagem, onde permaneceram por 30 dias. No período anterior à colocação dos plásticos, o lodo ficou acondicionado nos leitos de secagem sem cobertura alguma, também por um período de 30 dias.

No tratamento Testemunha o lodo ficou acondicionado nos leitos de secagem durante os 60 dias sem cobertura alguma, ou seja, utilizando a secagem convencional na sua forma original e comumente utilizada pelas ETE's no Estado do Paraná.

4.4 MONITORAMENTO DOS DADOS E AMOSTRAGENS

Foi realizada uma única descarga de lodo dentro dos leitos de secagem, no início do mês de fevereiro/2001, período quente e de intensa precipitação.

O período de avaliação foi de 60 dias, sendo os primeiros 30 dias utilizando solarização ou secagem convencional e os últimos 30 dias o processo foi invertido, conforme o tratamento adotado.

Conforme ANDREOLI *et al.*, (2001), os leitos de secagem, convencionalmente são projetados para um período de secagem de 30 dias, porém não existe um período fixo em dias para a desidratação do lodo em leitos de secagem, em função de inúmeras variáveis como tempo de evaporação para atingir teor de sólidos desejado, tempo de percolação, características climáticas da região, estabilidade do lodo e até mesmo a carga de sólidos imposta por m^2 no leito de secagem. Estes fatores resultam numa alta variabilidade no período de secagem (AISSE *et al.*, 1999a).

O período de avaliação definido para este experimento foi 60 dias (30 dias para cada processo), visto que em trabalho realizado por FERREIRA (2001), constatou-se que 28 dias de solarização não foram eficientes em reduzir satisfatoriamente o teor de água do lodo, porém a secagem convencional atingiu teores de sólidos na ordem de 39,46%. Conforme GHINI (1997), quanto maior o tempo de permanência do filme plástico, maior será sua eficiência na higienização. Portanto, combinou-se os dois processos, prolongando-se assim o período de avaliação para 60 dias.

Após a descarga, foram monitorados periodicamente os seguintes parâmetros:

- Temperatura externa (acompanhamento informatizado 24 horas, com leituras a cada dez minutos);
- Umidade relativa externa (três leituras manuais diárias), utilizando termohigrômetro;
- Temperatura da massa de lodo em duas profundidades: superficial ($1/3$ superior) e profunda ($2/3$ inferiores). A temperatura foi monitorada 24 horas através de equipamento informatizado, com leituras a cada dez minutos com sensores instalados no centro de cada leito;
- Contagem e viabilidade de ovos de helmintos nos dias 0 (zero), 30 (trinta) e 60 (sessenta), sendo a avaliação realizada em duas profundidades. A metodologia utilizada é proposta por YANKO (1987) reformulada por THOMAZ-SOCCOL (1998b);
- Teor de sólidos a cada cinco dias, utilizando metodologia proposta pela APHA (1998) à 105°C. Amostragens também efetuadas em duas profundidades (perfil de lodo);

- Consulta ao SIMEPAR e EMBRAPA FLORESTA para obtenção de dados climáticos da região para período em estudo (radiação solar, precipitação, temperatura, umidade relativa e insolação).

As coletas de amostras para análise da viabilidade dos ovos de helmintos foram retiradas em duas profundidades no leito de secagem, sendo duas amostras compostas, uma no terço superior da camada de lodo e outra nos dois terços inferiores. As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e gelo, à uma temperatura aproximada de 4°C e posteriormente encaminhadas ao laboratório de patologia básica da Universidade Federal do Paraná.

As análises para determinação do teor de sólidos totais no lodo foram realizadas na própria ETE. Coletaram-se duas amostras compostas, uma para cada profundidade avaliada, que foram homogeneizadas em recipientes plásticos, posteriormente pesados em balança analítica (precisão = 0,01g), acondicionados em cápsulas de porcelana e secos em estufa laboratorial com termostato regulado em 105°C, por 12 horas. Para expressar os resultados, utilizou-se a fórmula:

- % umidade (105°C) $R_s = P_3 - P_1$
- % umidade (105°C) $= \frac{(P_2 - R_s) \cdot 100}{P_2}$

Onde:

P_1 = peso da cápsula vazia (g)
 P_2 = massa da amostra úmida (g)
 P_3 = cápsula + resíduo seco
 R_s = resíduo seco

Cada amostra composta foi formada por nove sub-amostras como recomendam TOLEDO e MEDEIROS (1998), baseada na NBR 10.007 (amostragem de resíduos sólidos). Posteriormente o material foi homogeneizado, embalado e identificado para envio ao laboratório correspondente.

4.4.1 Monitoramento da Temperatura

O equipamento informatizado para acompanhamento da temperatura na massa de lodo conta com sensores elétricos tipo “J” com faixa para leitura de -200 a 600°C (dois em cada leito) aterrados, ou seja, a junta quente estava em contato direto com a proteção do sensor em aço inox. Na fase inicial, notou-se que este aterramento interferia nos sinais emitidos, devido à carga eletrostática do lodo. Para evitar esta interferência o termopar foi isolado internamente ao sensor, desaterrado à junta quente, assim, conferindo maior confiabilidade aos dados.

A medida em que o lodo perdia água e tinha seu volume conseqüentemente reduzido, o sensor superficial tinha sua altura modificada, garantindo a leitura da temperatura superficial do lodo, mesmo com a redução gradativa do volume de lodo dentro dos leitos de secagem.

Os sensores foram instalados em alturas diferentes no centro do leito de secagem como mostra a Figura 14, possibilitando assim o monitoramento da temperatura do lodo em profundidades diferentes. O sensor que realizou a leitura na camada profunda foi fixado aproximadamente nos últimos cinco centímetros da camada profunda do perfil de lodo, porém o sensor que monitorou a temperatura superficial, constantemente tinha sua altura alterada, sempre o mantendo no $1/3$ superior da camada de lodo. Essa profundidade não pôde ser medida efetivamente em centímetros, uma vez que o perfil do lodo, tinha seu volume reduzido com o passar do tempo.

FIGURA 14 – ILUSTRAÇÃO DA INSTALAÇÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA DENTRO DO LEITO DE SECAGEM



Os sensores foram ligados em cabos de compensação tipo “J” norma ANSI, isolamento PVCxPVC bitola 2x18 AWG e então conectados à uma placa de computador chamada seletora.

As leituras foram gerenciadas 24 horas pelo software WinSMT32 2.20, que convertia os sinais elétricos recebidos pelos sensores em sinais digitais. A leitura dos sinais era então realizada automaticamente a cada dez minutos.

A Figura 15 ilustra os cabos de compensação conectados ao computador para monitoramento das temperaturas na massa de lodo.

FIGURA 15 – CABOS DE COMPENSAÇÃO LIGADOS AO COMPUTADOR/SENSORES PARA MONITORAMENTO DA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO



4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

O experimento a campo seguiu um delineamento em blocos aleatorizados, tendo como tratamentos: T1 → Secagem + Solarização; T2 → Solarização + Secagem, com três repetições, totalizando seis parcelas. Para fins de controle e por limitações técnicas, foi conduzido um tratamento Testemunha sem repetição.

As variáveis analisadas foram: quantidade de ovos de helmintos, viabilidade de ovos de helmintos, teor de sólidos, umidade relativa do ar, temperatura ambiente, temperatura da massa de lodo em duas profundidades, radiação solar e precipitação. Todas as variáveis foram submetidas à análise da eficiência dos tratamentos em função do tempo: T0 (0 dias), T30 (30 dias) e T60 (60 dias) e em relação ao potencial de higienização (redução da viabilidade dos ovos de helmintos) e redução da umidade no lodo (secagem).

Com a finalidade de melhor interpretar os resultados e identificar fontes específicas de variação, no nível laboratorial foi estabelecido um novo arranjo estatístico caracterizado como parcela sub-dividida; tendo como tratamento principal (fator A) as metodologias de higienização e secagem aplicada e, como tratamento secundário (fator B) o tempo de exposição.

A análise de variância foi testada com 1% e 5% de significância (F-teste-Fischer). Como teste comparativo de médias foi utilizado o teste de Tukey (5% de probabilidade), onde foram estabelecidos, segundo GOMES (1987), quatro níveis específicos de comparação (desdobramento):

- a) **nível 1**- comparação entre médias de métodos, tratamentos (fator A);
- b) **nível 2** – comparação entre médias de tempo (fator B);
- c) **nível 3** – comparação entre médias de tratamentos no fator B para o mesmo nível do fator A;
- d) **nível 4** – comparação entre médias de tratamentos no fator A para o mesmo nível do fator B; para todas as variáveis propostas.

Este nível de detalhamento do teste Tukey possibilita verificar e identificar variações específicas proporcionadas por quaisquer que sejam os fatores causadores;

diferentemente dos testes comparativos de médias convencionais, onde não há essa possibilidade.

Foram também estabelecidas correlações lineares simples envolvendo todas as variáveis testadas no trabalho, bem como diagramas de dispersão, equações de regressão e coeficientes de determinação.

O leito de secagem Testemunha é considerado apenas um “controle”, podendo não condizer com a realidade, uma vez que o referido tratamento não contou com repetição alguma, impedindo afirmação dos resultados encontrados como absolutos. Porém, em estudos realizados por FERREIRA (2001) comprovou-se a ineficiência do leito de secagem convencional para eliminação de ovos de helmintos, embora tenha apresentado resultados bastante satisfatórios para desaguamento do lodo.

Considerou-se como nível mínimo para rejeição das hipóteses 5%, ou seja, sempre que o valor da probabilidade do teste de Tukey for menor ou igual a 0,05 ($\alpha \leq 0,05$) não se rejeita que há diferença significativa entre as médias de tratamentos e/ou aplicações, procedendo-se então o detalhamento da análise.

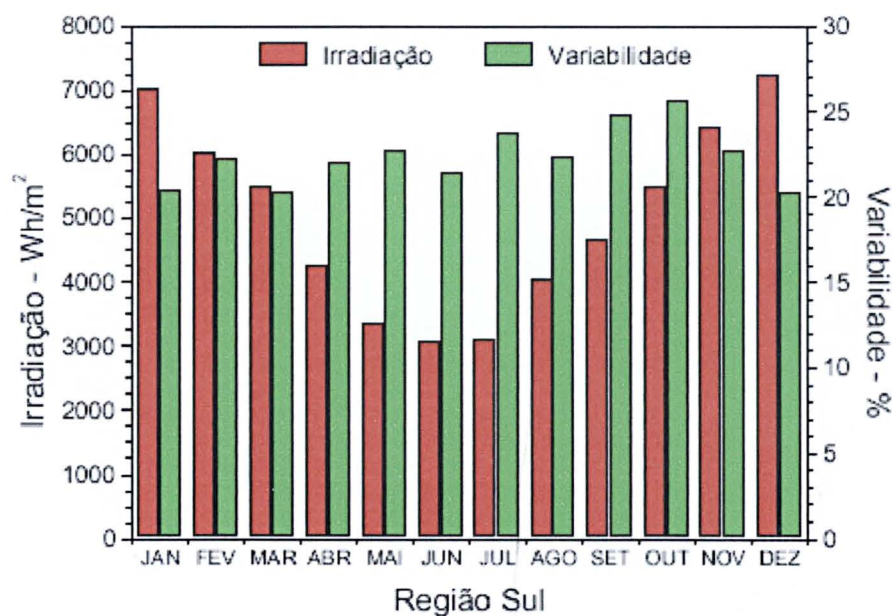
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 FATORES CLIMÁTICOS

A irradiação global média para a região sul é a menor do Brasil, ao redor de 5.015 Wh/m^2 (COLLE e PEREIRA, 1998). A Figura 16 ilustra a irradiação solar e sua variabilidade na região sul, comprovando maior irradiação solar nos meses de verão, chegando a 7.000 Wh/m^2 . No presente estudo a radiação máxima foi observada no mês de março (4.373 Wh/m^2).

Inúmeros fatores ambientais como chuvas, umidade relativa do ar, radiação solar e ventos afetam o desaguamento do lodo em leitos de secagem convencionais (AISSE e ANDREOLI, 1999). O período de permanência do lodo nos leitos de secagem se deve, principalmente ao fator climático da região onde o mesmo está sendo desaguado, tendo seu ciclo prolongado em regiões de precipitação intensa, alta umidade relativa e temperatura ambiente amena (DALTRO FILHO *et al.*, 1994).

FIGURA 16 – IRRADIAÇÃO MÉDIA MENSAL REGIONAL E VARIABILIDADE DA IRRADIAÇÃO MÉDIA DIÁRIA PARA A REGIÃO SUL BRASILEIRA



FONTE: COLLE e PEREIRA (1998).

O Brasil recebe em média 2.000 kWh/m².ano de energia solar (ELOGICA, 2002). Através do software Sundata v1.0 pela consulta ao banco de dados CRESESB (2001), verificou-se uma radiação solar de 5,14 kWh/m².dia para o mês de fevereiro e 4,72 kWh/m².dia no mês de março de 2000 (TABELA 8) para a região de Colombo-PR, local onde o experimento foi conduzido.

Conforme dados da CRESESB (2001), obtidos pelo software Sundata v1.0, a radiação solar para o mês de fevereiro se encontra entre as mais altas para a região. A Tabela 8 mostra a radiação solar em kWh/m².dia para os diferentes meses do ano no município de Colombo-PR.

TABELA 8 – RADIAÇÃO SOLAR EM KWH/M².DIA PARA A REGIÃO DE COLOMBO – PR NO ANO DE 2000.

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÍN.	MÁX.	MÉDIA
Colombo	5.47	5.14	4.72	4.00	3.58	3.03	3.31	3.78	4.03	4.72	5.42	5.47	3.03	5.47	4.39

FONTE: CRESESB (2001).

A Tabela 9 mostra os valores médios mensais de temperatura, radiação solar, luminosidade, umidade relativa e precipitação, segundo dados fornecidos pelo SIMEPAR (2001) e EMPRAPA FLORESTA (2001).

TABELA 9 – DADOS CLIMÁTICOS PARA REGIÃO DE COLOMBO-PR NOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO DE 2001

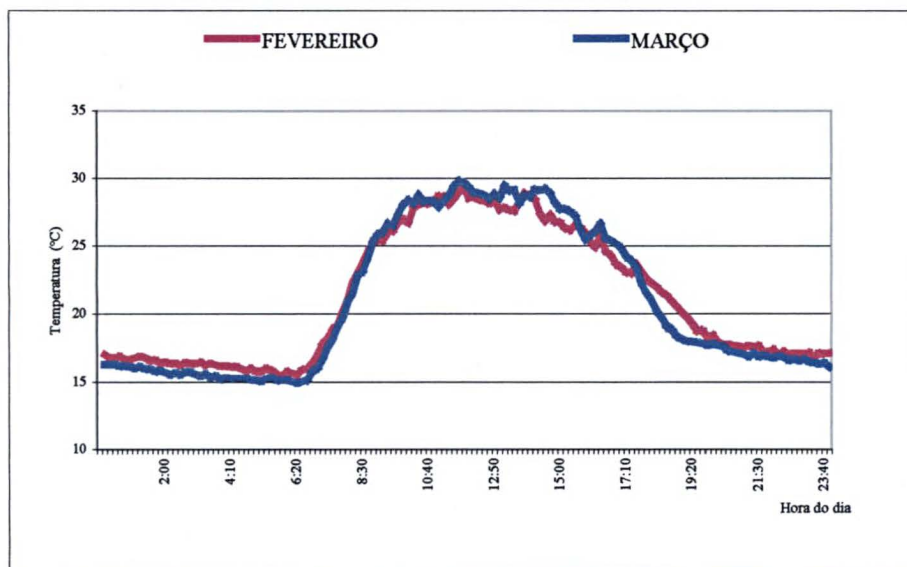
	FEVEREIRO	MARÇO
Temperatura (°C) - média diária	21,16	20,94
Precipitação acumulada (mm)	237,2	165,0
Umidade relativa do ar (%)	89,75	87,72
Duração do dia (horas)	12,56	12,13
Radiação solar (W/m ²)	341,57	360,51
Irradiação solar (Wh/m ²)	4.290,12	4.372,99

Fonte: SIMEPAR (2001) e EMBRAPA (2001).

As mudanças que ocorrem no posicionamento da terra em relação ao sol são as principais causas das variações diárias e sazonais do clima (PEREIRA, 2000). Durante o dia, há maior intensidade dos raios solares e, portanto, maior é a temperatura ambiente, como pode ser observado na Figura 17, que ilustra a curva da

temperatura ambiente em função da hora do dia nos meses de fevereiro e março de 2001, meses em que o experimento foi conduzido.

FIGURA 17 – MÉDIA DIÁRIA DA TEMPERATURA AMBIENTE EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA NOS MESES DE FEVEREIRO E MARÇO/2001.



A média diária da temperatura ambiente foi de 21,16°C no mês de fevereiro e 20,94°C no mês de março, porém considerando-se apenas as temperaturas compreendidas no período das 10:00 às 15h 30min, horário de maior intensidade solar, a média de temperatura ambiente passa a ser 27,93°C no mês de fevereiro e 28,67°C no mês de março, evidenciando a importância da radiação solar na elevação da temperatura ambiente.

Conforme PEREIRA (2000), a radiação solar recebida está diretamente associada à topografia da região e as condições climáticas como precipitações e nebulosidade. Comprovando a interação dos elementos climáticos, foram obtidas correlações bastante expressivas para as variáveis independentes de radiação solar e temperatura ambiente ($r = 0,72$) bem como para precipitação diária e umidade relativa ($r = 0,91$). Algumas variáveis independentes como radiação solar e precipitação diária ($r = -0,98$), temperatura ambiente e precipitação diária ($r = -0,82$), radiação solar e umidade relativa do ar ($r = -0,96$), apresentaram correlações negativas, ou seja, são

grandezas inversamente proporcionais, na medida em que uma aumenta a outra diminui (ANEXO I).

5.2 TEMPERATURA NA MASSA DE LODO

Observaram-se temperaturas estatisticamente superiores na camada profunda/inferior do perfil de lodo, principalmente no horário compreendido entre 10:00 e 15:30, durante o processo de solarização dos respectivos tratamentos (TABELA 10). Essa diferença, estatisticamente significativa, também foi observada para médias diárias (24 horas) de temperatura na massa de lodo (Tabela 15), porém no período das 10:00 às 15h e 30 min, a média de temperatura observada na massa de lodo foi superior, provavelmente à maior intensidade solar compreendida neste horário.

TABELA 10 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO E CAMADA DO PERFIL

Temperatura média (°C) *	Testemunha		Solarização + Secagem		Secagem + Solarização	
	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda	Superficial	Profunda
Fevereiro	26,17	25,80	31,93	25,96**	25,82	23,99
Março	28,60	28,57	32,06	25,56	31,53	29,45**

* Horário compreendido entre 10:00 - 15h e 30 min

** Período de solarização

Com o monitoramento informatizado da temperatura foi possível gerar gráficos que representam o comportamento diário da temperatura na massa de lodo para as duas profundidades avaliadas no perfil de lodo ($1/3$ superior e $2/3$ inferiores). As leituras foram realizadas com intervalos de 10 minutos, ininterruptamente.

A maior temperatura observada no controle Testemunha foi de 36°C (camada superior) e 34° (camada inferior). No tratamento Secagem + Solarização observou-se picos de até 41,6°C (camada superficial) e 37°C (camada profunda). Já o tratamento Solarização + Secagem alcançou 43,6°C (camada superficial) e 31,6°C (camada profunda).

As Figuras 18, 19 e 20 ilustram temperaturas médias diárias atingidas no perfil de lodo, nas camadas superficial ($1/3$ superior) e profunda ($2/3$ inferiores) em função do tratamento adotado e hora do dia.

FIGURA 18 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO).

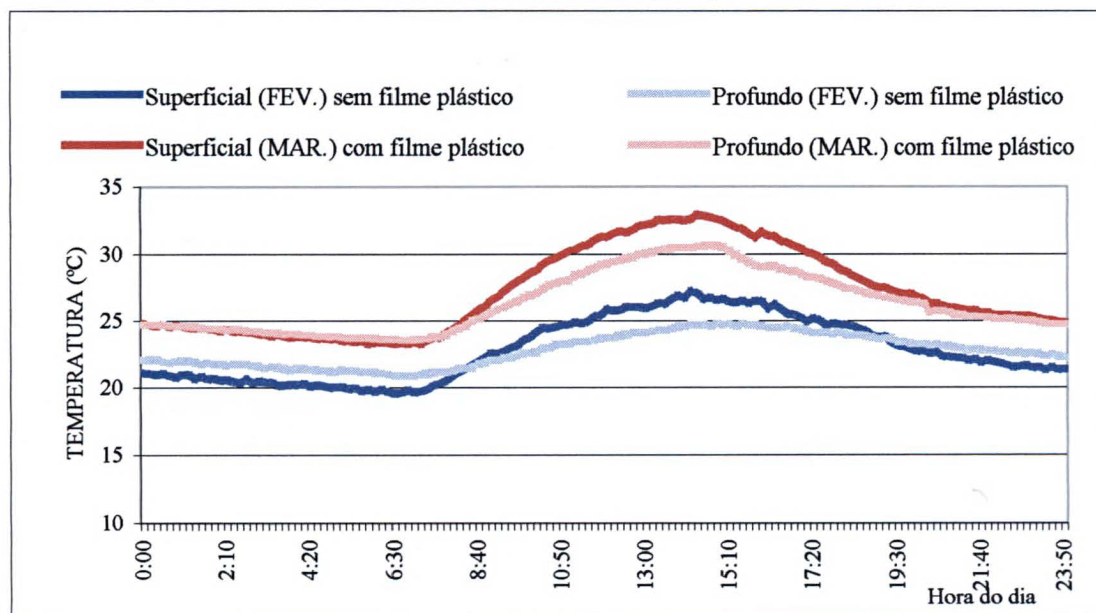


FIGURA 19 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM).

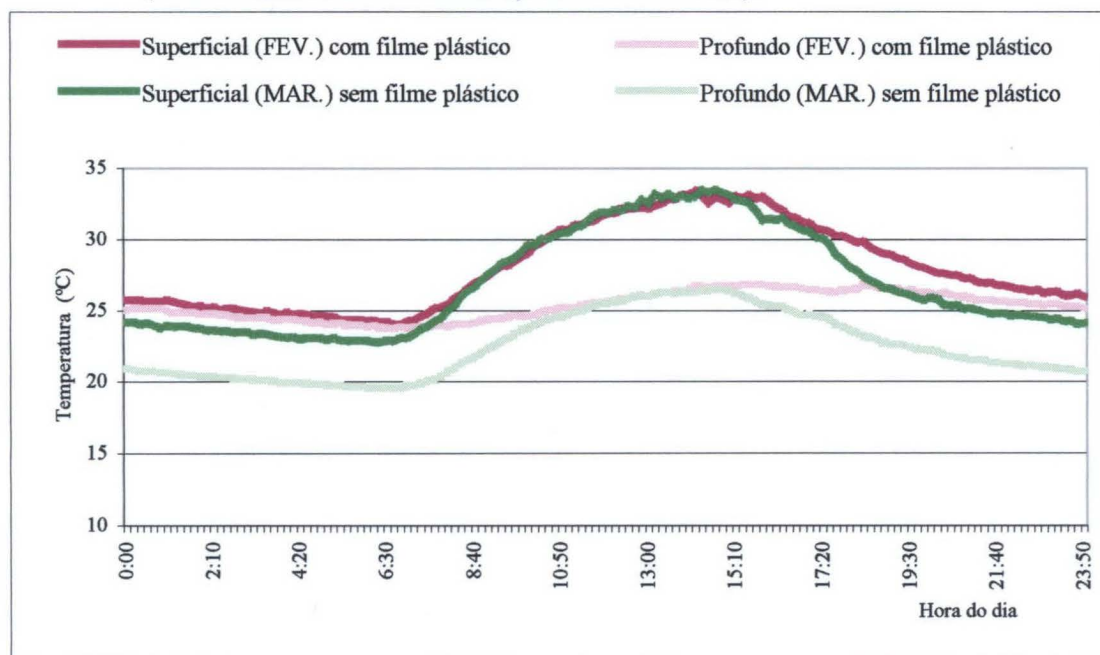
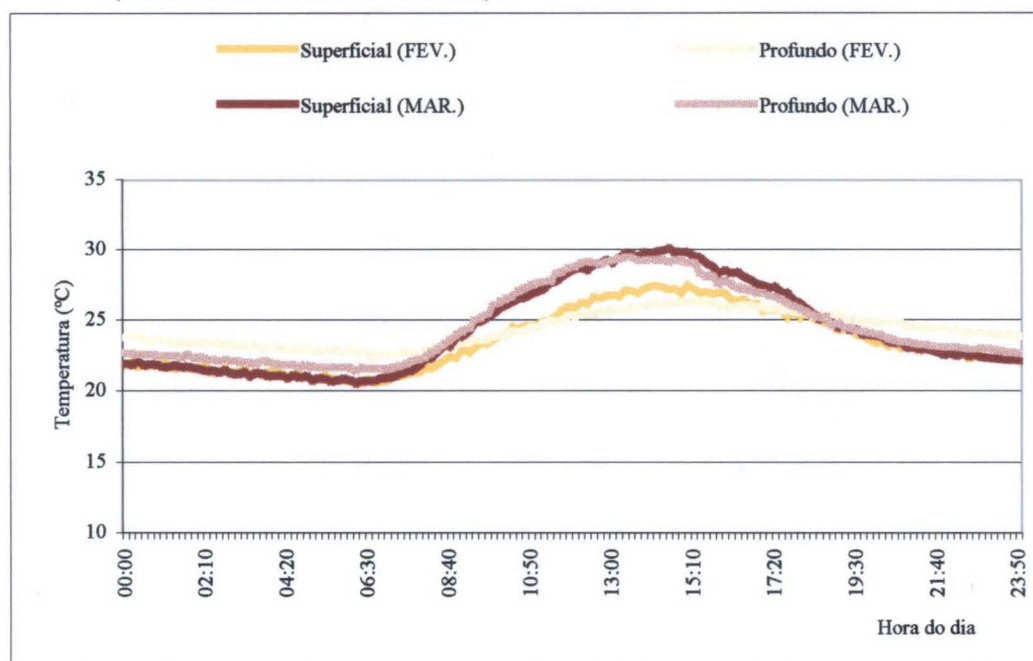


FIGURA 20 – TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO (SUPERFICIAL E PROFUNDO) EM FUNÇÃO DA HORA DO DIA E PERÍODO DE AVALIAÇÃO (CONTROLE TESTEMUNHA).



As temperaturas mais elevadas foram observadas na camada superficial do perfil, em todos os tratamentos, quando o filme plástico estava sobre o lodo (TABELA 10). Comprova-se assim, a capacidade de elevar a temperatura na massa de lodo através do efeito estufa, proporcionado pelo filme plástico transparente, já testado anteriormente por FERREIRA (2001), que alcançou temperatura média de 30°C, superior às temperaturas observadas no presente trabalho (TABELA 11). Esta diferença entre temperaturas nos referidos experimentos de solarização em lodo de esgoto, provavelmente está associada à variação de intensidade na radiação solar e precipitação para o período de condução dos experimentos, bem como a forma de instalação do filme plástico, que no presente estudo não impediu totalmente a entrada de água da chuva, uma vez que os sensores para monitoramento da temperatura encontravam-se instalados no centro do leito de secagem.

A Tabela 11 mostra as temperaturas no perfil de lodo em função do tempo, confirmando temperaturas médias mais altas no período de solarização, uma vez que o processo de solarização aconteceu em tempos diferentes nos respectivos tratamentos. Observou-se uma variabilidade na temperatura no T_0 (dia zero), fato explicado pela realização de leitura pontual, ou seja, o valor refere-se à primeira leitura, realizada momentos após a descarga do lodo nos leitos de secagem. A leitura de temperatura não foi realizada ao mesmo tempo em todos os leitos e secagem, devido a problemas no equipamento informatizado utilizado para monitoramento da temperatura, sendo, portanto, a leitura inicial, efetuada por termômetro digital, manualmente.

TABELA 11 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO NO DECORRER DO TEMPO

	0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS
	Temperatura média (°C)		
TESTEMUNHA	24,31	24,07	24,57
SOLARIZAÇÃO + SECAGEM	26,17 a	*26,27 a	24,00 b
SECAGEM + SOLARIZAÇÃO	23,70 b	22,83 b	*26,56 a

* Período de solarização

↔ sentido para comparação estatística

Conforme FERREIRA (2001), destaca-se a importância de temperaturas mais elevadas em maiores profundidades no perfil de lodo, onde há concentração dos ovos de helmintos.

CARRINGTON (1980), verificou que a digestão anaeróbia com temperaturas superiores a 36°C, pode inviabilizar ovos de *Ascaris sp.* e de *Taenia sp.* PESSÔA e MARTINS (1974), observaram desenvolvimento normal de helmintos à temperaturas de 15-35°C.

ROBINSON e KNOCKE (1992) concluíram que a água intersticial dos lodos pode ser retirada pelo uso de temperaturas constantes de 35°C.

5.2.1 Testemunha

Através da análise de dados observou-se que no tratamento Testemunha, a temperatura manteve-se acima de 35°C por 4,83 horas (≈ 290 minutos) exclusivamente na camada superficial em perfil de lodo. Somente na segunda etapa do experimento (31-60 dias), período em que o teor de água presente no lodo já estava bastante reduzido, devido à ação da percolação e evaporação da água da água presente no lodo.

Observou-se a manutenção da temperatura média na massa de lodo no decorrer do tempo, com variação menor que 1°C para o período (TABELA 11).

5.2.2 Secagem + Solarização

Nos primeiros 30 dias do tratamento Secagem + Solarização, a temperatura na massa de lodo manteve-se acima de 35°C por 23,4 minutos na camada superficial. Porém, no período de 31-60 dias (solarização), a temperatura permaneceu acima de 35°C por 64,67 horas (≈ 3.880 minutos) na camada superficial e 19,56 horas (≈ 1.174 minutos) na camada profunda, fato associado à redução na altura do perfil (desidratação), tornando mais fácil aquecer a camada profunda, uma vez que esta se encontrava mais próxima à camada superficial e à fonte de aquecimento (filme plástico).

No presente trabalho foram obtidas temperaturas mais elevadas na camada profunda do perfil de lodo para o tratamento Secagem + Solarização, concordando com GHINI (1997) que quanto menor a profundidade (altura) do perfil, maiores temperaturas serão atingidas.

5.2.3 Solarização + Secagem

No tratamento Solarização + Secagem a temperatura na massa de lodo permaneceu por um período médio de 33,28 horas (≈ 1.997 minutos) igual ou acima de 35°C , nos primeiros 30 dias (solarização). Porém, temperaturas acima de 35°C foram observadas apenas na camada superficial, provavelmente devido à elevada umidade ainda existente no lodo e conseqüentemente maior altura do perfil. Já na segunda etapa, dos 31-60 dias (secagem), a temperatura na massa de lodo permaneceu por 54,78 horas (≈ 3.287 minutos) acima de 35°C , também somente na camada superficial, uma vez que não mais contava com o incremento de temperatura proporcionado pelo efeito estufa.

5.2.4 Avaliação Geral e Comparação dos Tratamentos em Função da Temperatura Atingida na Massa de Lodo

Quando se compara os gráficos de temperatura ambiente (FIGURA 17) e temperaturas na massa de lodo (FIGURAS 18, 19 e 20), observa-se que as curvas seguem uma mesma tendência, evidenciando a forte influência dos fatores climáticos na elevação da temperatura no lodo, principalmente na camada superficial do perfil. Este fenômeno também foi observado por GHINI (1997) e KATAN (1994) que verificaram a ocorrência de temperaturas superficialmente maiores, sendo a temperatura do solo, incrementada ainda mais pelo efeito da solarização.

ABREU (1994) verificou a importância da presença do filme plástico à noite, diminuindo o resfriamento radiativo do solo e, conseqüentemente, a perda de energia armazenada durante o dia, principalmente nas camadas mais profundas, minimizando as variações bruscas de temperatura em maiores profundidades. Este fenômeno também foi verificado nesta pesquisa, e pode ser observado através das Figuras 18 e 19, onde as variações de temperatura na camada profunda do perfil de lodo foram menores nos períodos em que os tratamentos utilizavam solarização.

O teste F (teste de Fischer) indicou efeito significativo para o fator temperatura em perfil de lodo para métodos (tratamento) ao nível 5% de significância. Essa significância também é observada em função do tempo, apresentando ainda interação entre tempo x método com significância a 1% (TABELA 12). A temperatura na massa de lodo além de variar em função do tratamento, também varia no decorrer do tempo, resultado da alternância do processo de solarização no tempo para os respectivos tratamentos, onde as características do lodo, como o % de umidade, eram diferentes no momento em que se realizou a solarização.

TABELA 12 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA FATOR TEMPERATURA NA MASSA DE LODO

Fonte de variação	F observado			F requerido	
	Perfil	Superficial	Profunda	5%	1%
<i>----- Parcelas -----</i>					
-Blocos	16,56	2,07	293,58*	19,00	99,00
-Métodos (tratamentos)	89,05*	40,78*	426,23*	18,51	98,50
<i>----- Subparcelas -----</i>					
- Tempo	11,22*	75,74*	29,11*	4,46	8,65
- Int. Método X Tempo	174,57*	43,62*	436,68*	4,46	8,65

* significativo

O teste de Tukey, comprovou a influência da solarização no incremento das temperaturas no perfil de lodo, uma vez que as mesmas são superiores no período de solarização nos respectivos tratamentos (TABELA 13). O Controle Testemunha não está classificado, uma vez que não faz parte da análise estatística, por contar apenas com uma repetição.

A Tabela 13 mostra ainda diferença estatística entre temperaturas na massa de lodo para os tratamentos Solarização + Secagem e Secagem + Solarização. As temperaturas foram estatisticamente diferentes nos períodos de avaliação em função dos tratamentos adotados. Essa diferença está ligada fortemente ao efeito da solarização e, conseqüentemente existiu variação de temperaturas na massa de lodo em função do tempo.

TABELA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA MESMO NÍVEL DE TEMPO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento
26,17 a	Sol + Sec	26,28 a	Sol + Sec	26,65 a	Sec + Sol
23,70 b	Sec + Sol	22,83 b	Sec + Sol	24,00 b	Sol + Sec

↕ Sentido para comparação estatística

Quando se determina a média diária bimestral para as temperaturas na massa de lodo em cada tratamento, pode-se observar a variação da temperatura em função da hora do dia, sendo que os tratamentos apresentaram pequena diferença estatística significativa entre si (FIGURA 21) ao nível de probabilidade 5% (TABELA 12), tendo o tratamento Solarização + Secagem ligeiramente superior. Porém, quando o tempo é representado isoladamente nos tratamentos, verificou-se variações mais acentuadas nas temperaturas no perfil de lodo (FIGURAS 22 e 23). Nos últimos 30 dias (FIGURA 23) observou-se temperaturas mais altas para todos tratamentos, fato associado à menor altura do perfil de lodo, reduzida progressivamente pela desidratação e a menor precipitação observada no mês de março.

FIGURA 21 – MÉDIA DIÁRIA BIMESTRAL DE TEMPERATURA NA MASSA DE LODO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS

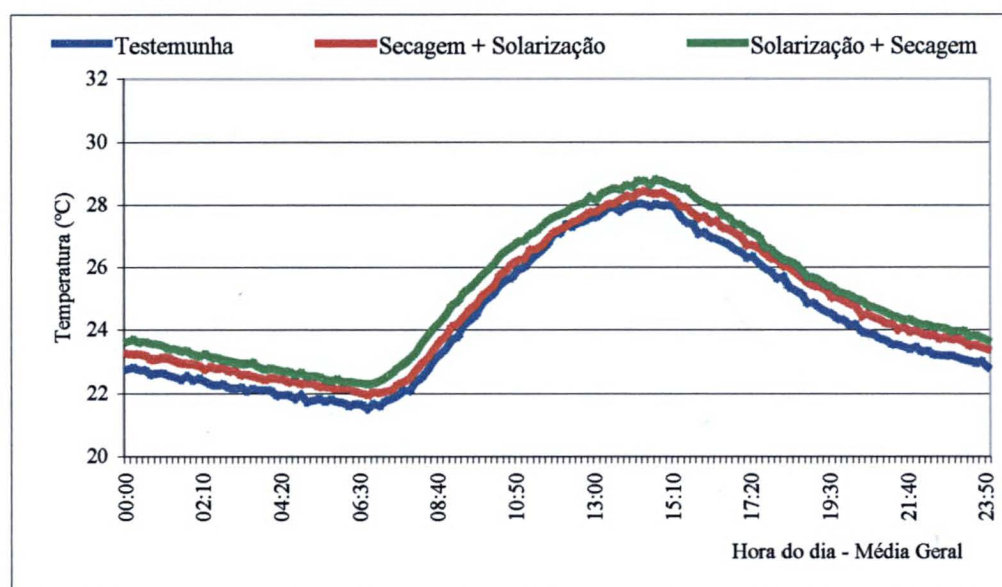


FIGURA 22 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA OS RESPECTIVOS TRATAMENTOS NO MÊS DE FEVEREIRO - 0 A 30 DIAS (MÉDIA DIÁRIA MENSAL)

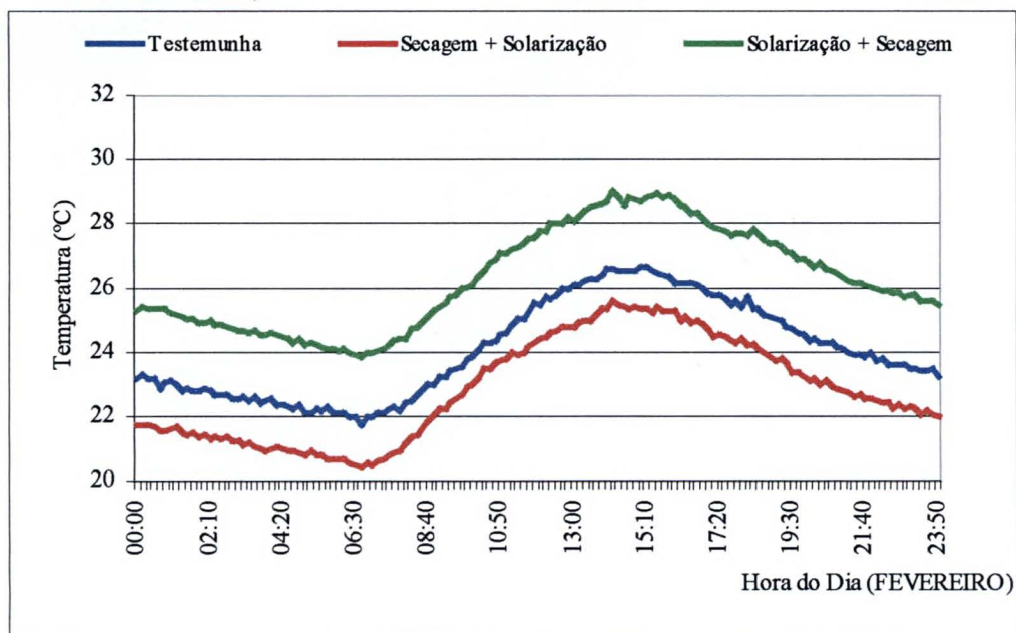
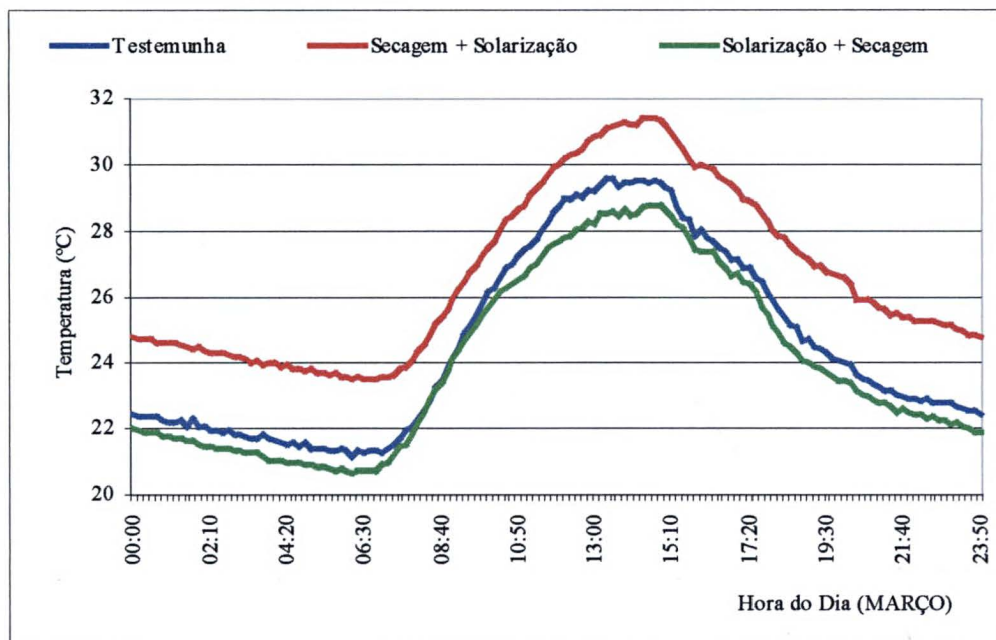


FIGURA 23 – TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA OS RESPECTIVOS TRATAMENTOS NO MÊS DE MARÇO - 31 A 60 DIAS (MÉDIA DIÁRIA MENSAL)



Haverá remoção eficiente de patógenos na medida em que o sol for capaz de elevar a temperatura do lodo (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Portanto, nas condições observadas para o presente trabalho, o desaguamento do lodo em leitos de

secagem resulta em maiores temperaturas da massa de lodo através da combinação de secagem convencional, seguida de solarização. Esse resultado se deve à perda de umidade e conseqüente redução na altura do perfil, imposta pela secagem convencional, maximizando posteriormente a ação do efeito estufa (solarização) na elevação da temperatura, inclusive para camadas mais profundas do perfil de lodo.

5.2.5 Estratificação da Temperatura na Massa de Lodo

Quando se compara a temperatura na camada superficial e profunda do perfil de lodo, observam-se temperaturas mais elevadas nas camadas superficiais, também com uma maior amplitude de variação. SILVEIRA e CAIXINHAS (1994) explicam a diferença de temperatura entre a superfície e a camada inferior em solos solarizados, onde a temperatura na camada superficial está susceptível ao efeito físico do aumento diário da temperatura ambiente, variando com a temperatura do ar, radiação, umidade, velocidade do vento, características do solo/lodo e até mesmo do tipo de filme plástico utilizado.

A Tabela 14 apresenta as médias diárias de temperatura observadas nos respectivos tratamentos em função do tempo e camada do perfil.

TABELA 14 – ESTRATIFICAÇÃO DA TEMPERATURA (MÉDIA DIÁRIA) NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO

		0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS
		Temperatura média (°C)		
Testemunha	<i>Superficial</i>	23,08	23,53	24,38
	<i>Profundo</i>	24,92	24,34	24,66
Solarização + Secagem	<i>Superficial</i>	24,49 b	28,07 a	27,00 a
	<i>Profundo</i>	27,01 a	25,38 b	22,50 c
Secagem + Solarização	<i>Superficial</i>	24,56 b	22,84 b	27,21 a
	<i>Profundo</i>	23,26 b	22,81 b	26,38 a

↔ sentido para comparação estatística

5.2.5.1 Camada superficial

O teste F (Fischer) indicou efeito significativo para temperatura na camada superficial em perfil de lodo (TABELA 12), ao nível 1% de significância para os

fatores tempo e interação entre método x tempo, evidenciando a ação do método no decorrer do tempo, influenciando a temperatura na camada superficial do perfil. Observou-se ainda, significância a 5% para métodos, onde o tratamento influencia os níveis de temperatura atingidos na camada superficial.

Nenhuma das variáveis correlacionadas no presente trabalho alcançou coeficientes de correlação significativos, $\alpha=0,666$ (ANEXO I). Foram observadas para a variável temperatura do lodo na camada superficial, correlações de ($r = 0,32$) para radiação acumulada, ($r = -0,29$) precipitação diária e ($r = -0,34$) umidade relativa do ar. Estes baixos coeficientes de correlação apontam para o efeito combinado da radiação solar e da solarização, uma vez que o efeito solarização não pôde ser mensurado isoladamente.

5.2.5.2 Camada profunda

Já na camada profunda do perfil, o teste F, indicou 1% de significância para todos fatores avaliados: blocos; métodos; tempo; e interação tempo x método. Portanto, o tratamento influencia as temperaturas também para a camada profunda do perfil, variando no decorrer do tempo (TABELA 12).

A significância obtida para o fator blocos pode estar associada à declividade natural do terreno onde o aparato experimental foi instalado. Essa declividade pode ter ocasionando acúmulo de água nos leitos de secagem, conseqüentemente influenciando a temperatura na camada profunda do perfil em amplitudes diferenciadas para as referidas parcelas. Outro fator com provável relação à diferença estatística entre blocos, é a desuniformidade na incidência de raios solares e ventos nos respectivos blocos formados pelo arranjo estatístico. Segundo PEREIRA (2000), a topografia, cobertura de nuvens, aerossóis atmosféricos, vapor d'água e gases exercem influência no campo da radiação solar.

Na camada profunda em perfil de lodo, não se verificou nenhuma correlação significativa entre temperatura do lodo e variáveis independentes analisadas (ANEXO I). Acredita-se que o processo de solarização tenha intensa relação com as

temperaturas observadas, uma vez que o efeito da solarização não pôde ser medido isoladamente e, portanto, não foi possível comprovar qualquer correlação com esta variável.

5.2.5.3 Avaliação geral e comparação dos perfis em função da temperatura na massa de lodo e tratamento adotado

A Tabela 14 mostra através do desdobramento de Tukey que o tratamento Solarização + Secagem na camada superficial apresentou temperaturas estatisticamente iguais nos tempos 30 e 60 dias. A solarização (primeiros 30 dias) promoveu um aumento de temperatura, porém a grande quantidade de umidade ainda existente no lodo (72,96% de água) dificultou um maior aquecimento, comparado-se ao período de secagem convencional (últimos 30 dias), onde, mesmo sem o incremento de temperatura proporcionado pela solarização, a temperatura na camada superficial foi estatisticamente igual à observada no período de solarização. Essa igualdade pode ser atribuída à redução na altura do perfil de lodo e à menor quantidade de água, bem como menor precipitação observada no período. GHINI (1997) afirma que a umidade promove a condução do calor das camadas superficiais para as mais profundas, porém não determina o percentual ideal de umidade para que a condução de calor efetivamente ocorra. Segundo ANDREOLI *et al.*, (2001) elevada umidade no lodo, requer quantidades elevadas de calor para alterar sua temperatura.

Foi observado um incremento de temperatura no tratamento Secagem + Solarização, porque a redução na altura do perfil, aliada à solarização causou um aumento nas temperaturas atingidas, principalmente na camada mais profunda do perfil de lodo (TABELAS 14 e 15).

Na Tabela 15 através do teste de Tukey, pôde-se observar nos últimos 30 dias de experimento que não houve diferença estatística nas temperaturas da camada superficial para os distintos tratamentos, evidenciando a importância da umidade e altura do perfil de lodo, onde menores profundidades serão aquecidas mais facilmente.

A solarização foi mais eficiente na elevação da temperatura para camada profunda do perfil no tratamento Secagem + Solarização, fato associado à redução na altura do perfil de lodo, facilitando o aumento da temperatura em maiores profundidades (GHINI, 1997). Portanto, a altura em perfil de lodo é fundamental para maior ou menor eficiência da solarização em promover aumento de temperatura.

TABELA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE TEMPERATURA NA MASSA DE LODO EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO ADOADO NO MESMO NÍVEL DE TEMPO

CAMADA SUPERFICIAL					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento
24,56 a	Sol + Sec	28,07 a	Sol + Sec	27,21 a	Sec + Sol
24,49 a	Sec + Sol	22,87 b	Sec + Sol	27,01 a	Sol + Sec
CAMADA PROFUNDA					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento	Temperatura (°C)	Tratamento
27,01 a	Sol + Sec	25,38 a	Sol + Sec	26,38 a	Sec + Sol
23,26 b	Sec + Sol	22,81 b	Sec + Sol	22,50 b	Sol + Sec

↕ sentido para comparação estatística

O teste F (Fischer) realizado para os respectivos tratamentos (TABELA 16) comparou a camada superficial com a profunda no perfil de lodo, em função da temperatura na massa de lodo. No tratamento Solarização + Secagem, verificou-se 1% de significância para tempo e interação entre tempo x perfil, 5% de significância para perfil (camada), apontando para temperaturas diferentes nas camadas do perfil no mesmo tratamento, inclusive em função do tempo.

No tratamento Secagem + Solarização, 1% de significância é observada apenas para fator tempo, onde as temperaturas das respectivas camadas (superficial e profunda), foram diferentes entre si apenas no decorrer do tempo, porém ao final do tratamento foram estatisticamente iguais, provavelmente pelo fato do filme plástico aquecer uniformemente as camadas do perfil.

TABELA 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEMPERATURA DE LODO NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL

SOLARIZAÇÃO + SECAGEM			
Fonte de Variação	F observado	F requerido	
		5%	1%
• — Parcelas —			
- Blocos	10,65	19,00	99,00
- Perfil	49,81*	18,51	98,50
• — Subparcelas —			
- Tempo	36,65*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	125,41*	4,46	8,65
SECAGEM + SOLARIZAÇÃO			
• — Parcelas —			
- Blocos	0,43	19,00	99,00
- Perfil	1,02	18,51	98,50
• — Subparcelas —			
- Tempo	15,28*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	0,37	4,46	8,65

* significativo

Pode-se concluir que não existe diferença estatística entre as temperaturas observadas para camada superficial e profunda em perfil de lodo no tratamento Secagem + Solarização. A variação de temperatura nas respectivas camadas em função do tempo, com temperaturas crescentes no decorrer do período, provavelmente está associada à solarização nos últimos 30 dias, onde há elevação/manutenção da temperatura na camada superficial e profunda, conjuntamente, uma vez que a altura do perfil já se encontrava bastante reduzida pelo desaguamento.

Na Tabela 14 verificam-se diferenças estatísticas, para a mesma camada, na temperatura na camada superficial e profunda do perfil em função do tempo.

Na Tabela 17 pode-se observar temperaturas superficiais superiores às temperaturas na camada profunda para o tratamento Solarização + Secagem.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO PERFIL, PARA TEMPERATURA NA MASSA DE LODO PARA O MESMO NÍVEL DE TEMPO

SOLARIZAÇÃO + SECAGEM					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Temperatura (°C)	Perfil	Temperatura (°C)	Perfil	Temperatura (°C)	Perfil
27,01 a	Profundo	28,07 a	Superficial	27,01 a	Superficial
24,49 b	Superficial	25,38 b	Profundo	22,50 b	Profundo

↕ sentido para comparação estatística

O tratamento Solarização + Secagem alcançou temperaturas elevadas, porém, superficialmente, daí a diferença estatística de temperaturas entre a camada superficial e profunda. O contrário foi observado no tratamento Secagem + Solarização, principalmente nos últimos 30 dias, onde a temperatura na massa de lodo ficou distribuída com maior uniformidade no perfil todo.

5.3 DESAGUAMENTO DO LODO

Segundo DALTRO FILHO *et al.*, (1994) as condições climáticas têm grande influência no período de secagem. No processo de secagem natural, os fatores ambientais como precipitação, insolação e radiação solar são imprescindíveis para avaliar a eficiência na desidratação do lodo e na inviabilização dos ovos de helmintos presentes no mesmo.

O mês de fevereiro apresentou uma precipitação acumulada de 237,2 mm e o mês de março, 165,0 mm. O incremento direto da umidade do lodo nos leitos de secagem pela água de chuva é influenciado pela umidade relativa do ar e a quantidade de radiação solar recebida.

Correlações significativas foram obtidas para as variáveis de temperatura ambiente ($r = 0,61$) e radiação solar mensal ($r = 0,89$) quando relacionadas ao teor de sólidos no lodo de esgoto. Ao contrário do observado por AISSE e ANDREOLI (1999), que verificaram que a desidratação do lodo é mais afetada pela umidade do ambiente do que pelas precipitações eventuais. Correlações entre teor de sólidos e umidade relativa do ar ($r = -0,87$), precipitação diária ($r = -0,87$) apresentaram correlação negativa, ou seja, quanto maior a umidade relativa e/ou a intensidade de precipitações, mais lento será o incremento no teor de sólidos no lodo de esgoto, com mesmo grau de importância, uma vez que quanto maior a precipitação, maior também será a umidade relativa do ar (ANEXO I).

A NB 570 (1990) prescreve uma carga de sólidos de até 15 kg.ST/m² ciclo/leito de secagem. O presente estudo utilizou uma carga de 34,5 kg.ST/m², devido à alta concentração inicial de sólidos no lodo (ao redor de 11%), alcançando em 60 dias um teor de sólidos aproximado de 47,54% (Testemunha). Aos 30 dias o mesmo já estava com um teor de sólidos ao redor de 40,00%, mostrando que para os meses de fevereiro e março (meses em que o experimento foi conduzido), a carga de sólidos de 34,5 kg.ST/m² indica um bom desempenho para desaguamento em leitos de secagem convencionais. Resultados semelhantes aos obtidos por AISSE e ANDREOLI (1999a) em estudo realizado na cidade da Lapa-PR, verificaram um teor de ST de 26% no lodo, para período de 14 dias no mês de março e 31% para um período de 20 dias,

utilizando uma carga de 23,7 Kg ST/m². No inverno (junho-julho), o período de avaliação foi de 34 dias, obtendo-se um total de 24,9 % de sólidos totais. VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) mostraram que para o nordeste brasileiro, as cargas entre 15 e 40 kg.ST/m² mantiveram o desempenho praticamente constante dos leitos de secagem, ou seja, sua eficiência para o desaguamento não foi alterada.

Em concomitância com a perda de umidade, observou-se uma redução na altura do lodo nos leitos de secagem, com conseqüente redução no seu volume (DALTRO FILHO *et al.*, 1994). Portanto, quando se utiliza o processo de solarização com vistas somente à higienização, a carga de sólidos por m², deve ser inferior a 34,5 kg.ST/m², facilitando o alcance de temperaturas mais elevadas para a massa de lodo e conseqüentemente, uma melhor higienização.

5.3.1 Testemunha

Para o tratamento Testemunha no 30º dia, o lodo estava com um teor de sólidos (ST) aproximado de 40,12% e aos 60 dias 47,54%. Os valores evidenciam a maior velocidade inicial de secagem, onde a maior parte de água livre é drenada nos primeiros dias e a água restante é lentamente evaporada.

Em trabalhos anteriores, AISSE e ANDREOLI (1999), observaram um teor de sólidos no lodo de 31%, num período de 20 dias de secagem em leitos convencionais na região da Lapa-PR. FERREIRA (2001) em trabalho realizado na região metropolitana de Curitiba-PR obteve teores de 63,02%, 40,45% e 32,40% de sólidos no lodo, num período de avaliação de 28 dias no verão, também na região metropolitana de Curitiba-PR. Portanto, os valores de ST (40,12%) observados no presente trabalho aos 30 dias, são ligeiramente menores, provavelmente devido às diferenças de precipitação, carga de sólidos utilizada por m² e época do ano.

5.3.2 Solarização + Secagem

Para o tratamento Solarização + Secagem, observou-se nos primeiros 30 dias uma dificuldade na evaporação da água presente no lodo, o que manteve o teor de

sólidos próximo a 26%. Aos 60 dias o teor de sólidos atingiu 45,23%, valor muito próximo à Testemunha, evidenciando a importante ação da evaporação, que ocorreu intensamente somente após a retirada do filme plástico.

Este fato é facilmente explicado, uma vez que o filme plástico colocado diretamente sobre o lodo, dificultou a liberação dos vapores d'água para a atmosfera. Os resultados obtidos no presente trabalho são semelhantes aos observados por FERREIRA (2001) que aos 28 dias observou teor de sólidos ao redor de 22,7% em lodo solarizado.

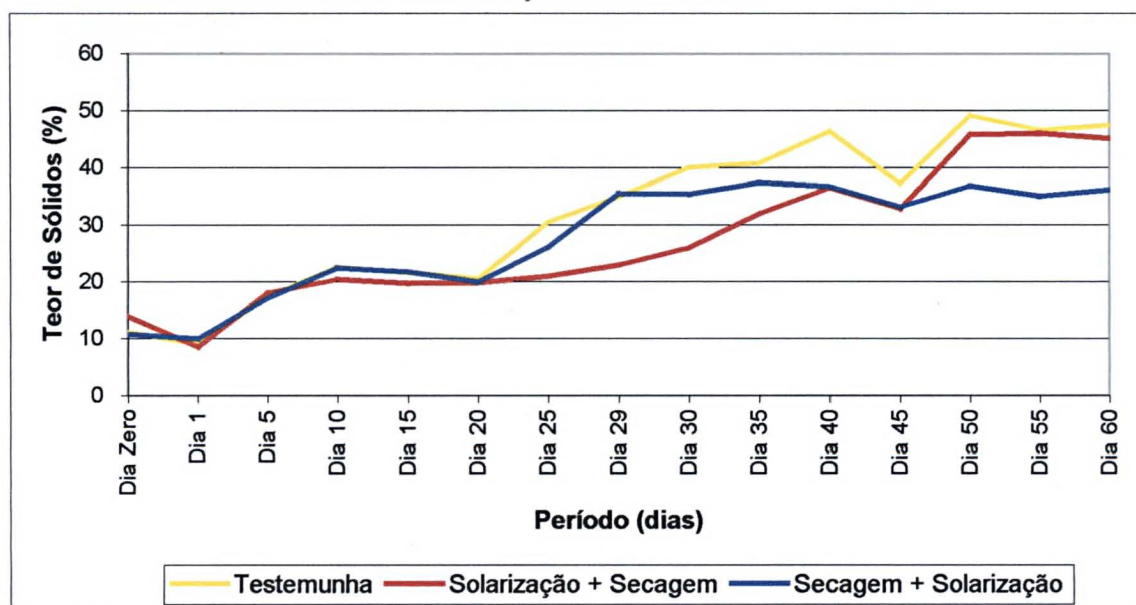
5.3.3 Secagem + Solarização

Aos 30 dias o teor de sólidos no lodo estava ao redor de 35,45% para o tratamento Secagem + Solarização. Aos 60 dias o teor de sólidos praticamente não se alterou devido a presença do filme plástico sobre o lodo, permanecendo ao redor de 36%, evidenciando a inexistência de evaporação, tendo no filme plástico uma barreira, impedindo tanto a evaporação como a entrada da água de chuva.

5.3.4 Avaliação Geral e Comparação dos Tratamentos para Aumento no Teor de Sólidos

A Figura 24 ilustra o comportamento do teor de sólidos no decorrer do tempo em função do tratamento adotado. Observam-se “picos” nas curvas, mais visíveis nos tratamentos em período de secagem convencional, como nos dias: 1º, 20º e 45º, datas em que a precipitação diária foi de 28,6 mm, 45,8 mm e 61,6 mm respectivamente. Os dados concordam com DALTRO FILHO *et al.*, (1994) sobre a concentração de sólidos do lodo disposto nos leitos de secagem, susceptível principalmente aos fenômenos climáticos como precipitação, uma vez que os leitos de secagem ficam ao céu aberto, recebendo toda ordem de influências climáticas.

FIGURA 24 - TEOR DE SÓLIDOS (%) NO PERFIL DE LODO PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS EM RELAÇÃO AO TEMPO.



Quando se procedeu a análise de variância para o teor de sólidos em perfil de lodo (TABELA 18), observou-se significância a 1% apenas para o fator tempo e interação do tempo com método, apontando para uma alteração na concentração de sólidos no decorrer do tempo.

TABELA 18 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TEOR DE SÓLIDOS

Fonte de variação	F observado			F requerido	
	Perfil	Superficial	Profunda	5%	1%
---- Parcelas ----					
-Blocos	6,21	24,58*	3,04	19,00	99,00
-Métodos (tratamentos)	2,79	0,01	4,58	18,51	98,50
---- Subparcelas ----					
- Tempo	230,40*	380,89*	131,57*	4,46	8,65
- Int. Método X Tempo	24,62*	66,38*	8,32*	4,46	8,65

* significativo

No detalhamento estatístico do teste de Tukey (TABELA 19), pôde-se concluir através da comparação de médias que o tratamento Solarização + Secagem alcançou teores de sólidos diferentes nos tempos de avaliação (zero, 30 e 60 dias). Já o

tratamento Secagem + Solarização, aos 30 dias de condução do experimento já contava com um teor médio de sólidos de 35%, teor que praticamente não se alterou no final do experimento (60 dias), chegando a 36% de sólidos. A manutenção no teor de sólidos observada no tratamento Secagem + Solarização, pode estar associada à presença do filme plástico e também à precipitação acumulada observada no mês de fevereiro (237,2 mm), superior a observada no mês de março (165,0 mm).

Aos 60 dias, o lodo do tratamento Solarização + Secagem atingiu um teor médio de sólidos de 45%, contra 36% do tratamento Secagem + Solarização (TABELA 20). Essa diferença, estatisticamente não significativa, pode ser representativa economicamente, onde a redução de custos é fator de extrema importância. Segundo ANDREOLI *et al.*, (2001) quando se reduz o teor de umidade de um lodo de 98% para 85%, reduz-se $\frac{1}{3}$ do volume inicial e, conseqüentemente $\frac{1}{3}$ do volume a ser transportado e/ou disposto, barateando custos para disposição final.

TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS NO DECORRER DO TEMPO

Solarização + Secagem		Secagem + Solarização	
60 dias	45,23 a	60 dias	36,21 a
30 dias	25,98 b	30 dias	35,45 a
0 dias	13,86 c	0 dias	10,32 b

↕ sentido para comparação estatística

A Tabela 20 mostra que estatisticamente os dois tratamentos são iguais para o fator sólidos, inclusive no decorrer do tempo. Constatou-se variação no teor de sólidos, apenas dentro do mesmo tratamento em função do tempo, fato associado à perda progressiva de água por percolação e evaporação que ocorreu simultaneamente nos dois tratamentos. Portanto, para o desaguamento do lodo, a eficiência da Solarização + Secagem e da Secagem + Solarização é semelhante à utilização da secagem convencional (tratamento Testemunha), que alcançou ao final dos 60 dias um teor médio de 47,54% de sólidos, ligeiramente superior ao observado nos outros tratamentos que foram estatisticamente iguais entre si.

TABELA 20 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA O TEOR DE SÓLIDOS EM PERFIL DE LODO, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento
13,86 a	Sol + Sec	35,45 a	Sec + Sol	45,23 a	Sol + Sec
10,32 a	Sec + Sol	25,98 a	Sol + Sec	36,21 a	Sec + Sol

↕ sentido para comparação estatística

5.3.5 Estratificação de Sólidos em Perfil de Lodo

Quando se compara o teor de sólidos nas duas profundidades avaliadas, fica explícito que a camada superficial do perfil ($1/3$ superior) possui um teor de sólidos maior, devido à evaporação, maior exposição aos raios solares e ventos, influenciado também, pela ação da gravidade, que determina a percolação natural da água para as camadas mais profundas do perfil. A Tabela 21 mostra os valores em porcentagem dos teores de sólidos para os diferentes tratamentos.

TABELA 21 – TEOR DE SÓLIDOS EM PERFIL DE LODO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEMPO

		0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS
			Sólidos totais (%)	
Testemunha	Superficial	11,1	46,17	60,19
	Profundo		37,10	41,21
Solarização + Secagem	Superficial	13,86 c	27,04 b	58,66 a
	Profundo		25,45 b	38,52 a
Secagem + Solarização	Superficial	10,8 b	45,14 a	44,23 a
	Profundo		30,60 a	32,19 a

↔ sentido para comparação estatística

Verificou-se que aos 60 dias a diferença no teor de sólidos entre as camadas superficial e profunda foi de 18,98% para o controle Testemunha, 20,14% para o tratamento Solarização + Secagem e 12,04% para o tratamento Secagem + Solarização.

5.3.5.1 Camada superficial

O teste F (teste de Fischer) realizado para o teor de sólidos na camada superficial do perfil (TABELA 18) mostra que os fatores tempo e interação entre

método e tempo foram significativos ao nível de probabilidade 1%, evidenciando a ação do tempo na concentração de sólidos para a camada superficial do perfil. Para o fator blocos, observou-se apenas significância a 5%, decorrente, provavelmente à declividade do terreno, desuniformidade da incidência de ventos e radiação solar, afetando desta forma a concentração de sólidos na camada superficial em perfil de lodo.

Foram observadas correlações significativas entre as variáveis independentes de teor de sólidos na camada superficial, com radiação solar acumulada ($r = 0,87$), temperatura ambiente ($r = 0,54$), precipitação diária ($r = -0,83$) e umidade relativa do ar ($r = -0,87$). Esses coeficientes de correlação apontam para suscetibilidade aos fatores climáticos para concentração de sólidos na camada superficial do perfil de lodo.

Realizando-se detalhamento pelo teste de Tukey para o teor de sólidos na camada superficial do perfil em função do tempo (TABELA 21) observou-se que o tratamento Solarização + Secagem apresentou teores de sólidos diferentes e crescentes para os períodos de avaliação.

O lodo submetido ao tratamento Secagem + Solarização apresentou concentração de sólidos estatisticamente iguais para os dias 30 e 60 para camada superficial do perfil de lodo (TABELA 21).

A Tabela 22 permite concluir que o tratamento Solarização + Secagem ao final dos 60 dias apresentou uma eficiência maior para desidratação do lodo na camada superficial do perfil, atingindo um teor de sólidos mais elevado (58,66%). Porém, aos 30 dias o tratamento Secagem + Solarização foi mais eficiente na redução de água. Fato associado à presença do filme plástico sobre o lodo em diferentes períodos nos respectivos tratamentos.

TABELA 22 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA O TEOR DE SÓLIDOS NA CAMADA SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento
13,86 a	Sol + Sec	45,14 a	Sec + Sol	58,66 a	Sol + Sec
10,32 a	Sec + Sol	27,04 b	Sol + Sec	44,23 b	Sec + Sol

↕ Sentido para comparação estatística

5.3.5.2 Camada profunda

Na camada profunda do perfil, através da análise de variância (TABELA 18) observou-se significância a 1% para os fatores tempo (período de avaliação) e interação entre método x tempo (significância a 5%), evidenciando uma evolução no teor de sólidos do lodo em função do período de avaliação e ao tratamento adotado.

Quando se correlaciona a variável independente teor de sólidos na camada inferior em perfil de lodo com radiação solar acumulada ($r = 0,90$), temperatura ambiente ($r = 0,65$), precipitação diária ($r = -0,89$), umidade relativa ($r = -0,86$), são verificados altos coeficientes de correlação, comprovando-se também a influência dos fatores climáticos na concentração de sólidos para camada profunda em perfil de lodo. Porém a camada superficial está mais suscetível à fatores climáticos não mensurados, como ventos e também percolação da água no perfil, bem como maior intensidade de evaporação.

Na camada profunda em perfil de lodo, através do desdobramento do teste de Tukey para teor de sólidos em função do tempo (TABELA 21), observaram-se teores de sólidos progressivos para os períodos de avaliação no tratamento Solarização + Secagem. Já o tratamento Secagem + Solarização apresentou a mesma eficiência de secagem nos dias 30 e 60 para a camada profunda, tendo mais uma vez a solarização agindo negativamente à perda de umidade.

Na Tabela 23, através da comparação de médias entre tratamentos em função do tempo, observou-se igualdade estatística entre os tratamentos para teor de sólidos na camada profunda do perfil. Portanto, o tratamento adotado é indiferente ao índice de sólidos alcançado na camada profunda (inferior) em perfil de lodo.

TABELA 23 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA O TEOR DE SÓLIDOS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA A CAMADA PROFUNDA EM PERFIL DE LODO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento	Teor de Sólidos (%)	Tratamento
13,86 a	Sol + Sec	30,60 a	Sec + Sol	38,52 a	Sol + Sec
10,32 a	Sec + Sol	25,45 a	Sol + Sec	32,19 a	Sec + Sol

↑ Sentido para comparação estatística
↓

5.3.5.3 Avaliação geral e comparação dos tratamentos em função da camada do perfil de lodo e incremento na concentração de sólidos

As Figuras 25, 26 e 27 mostram o desempenho do tratamento adotado no decorrer do tempo em função do teor de sólidos nas camadas superficial e profunda em perfil de lodo. Observaram-se variações nas curvas dos respectivos gráficos, devido à susceptibilidade aos fatores climáticos ocasionados pela secagem convencional do lodo ao céu aberto.

FIGURA 25 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS NO TRATAMENTO TESTEMUNHA PARA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL EM FUNÇÃO DO TEMPO

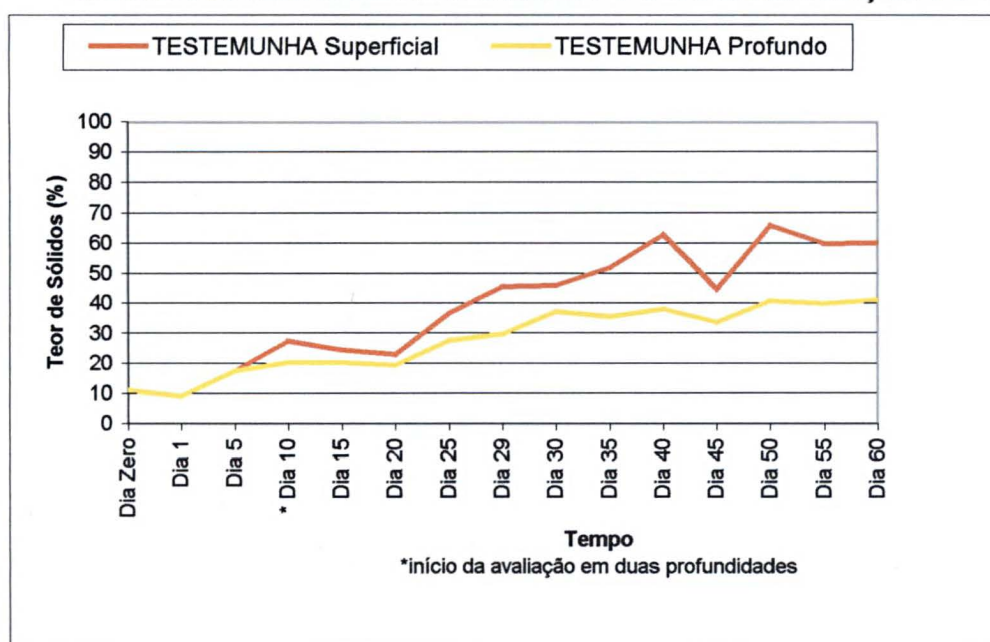


FIGURA 26 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS PARA O TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM NA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO

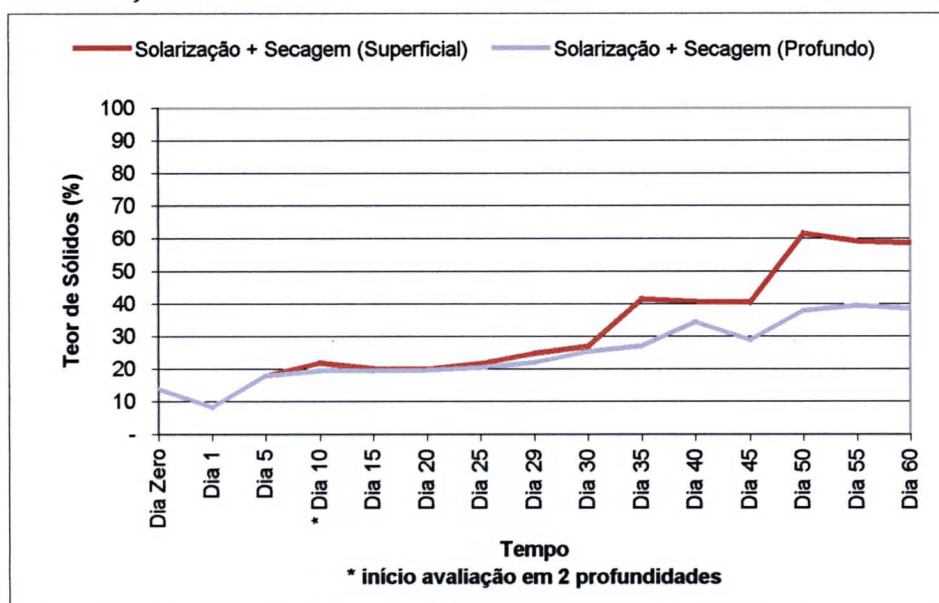
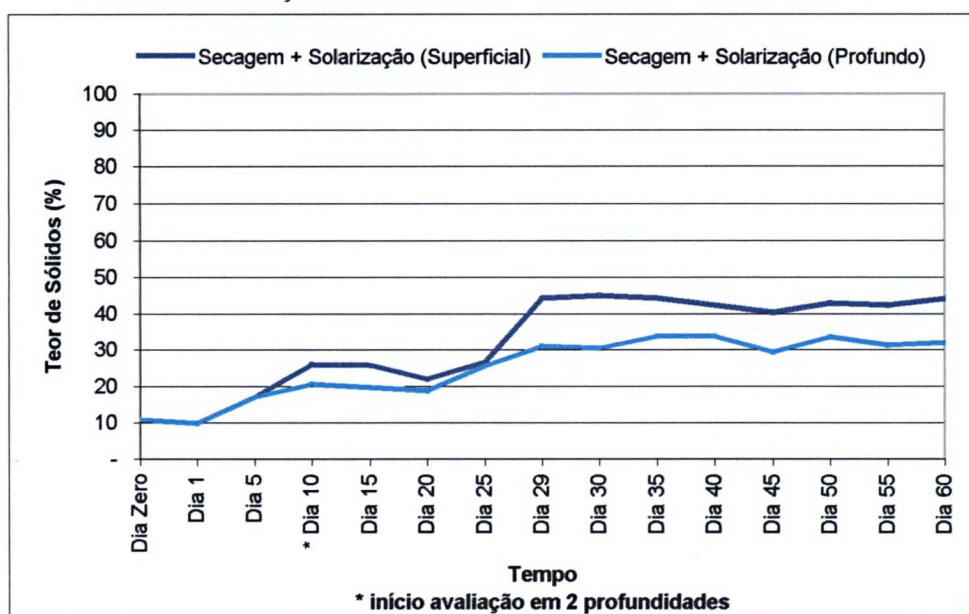


FIGURA 27 – EVOLUÇÃO NO TEOR DE SÓLIDOS PARA O TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO NA CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA DO PERFIL DE LODO EM FUNÇÃO DO TEMPO



Na Figura 26, nota-se que nos primeiros 30 dias de experimento o teor de sólidos manteve-se praticamente constante no tratamento Solarização + Secagem, fato associado à presença do filme plástico sobre o lodo neste período. Após o término da

solarização, o teor de sólidos superficial e profundo vão se diferenciando entre si, uma vez que a evaporação é mais intensa na superfície.

A Figura 27 ilustra um aumento progressivo no teor de sólidos nos primeiros 30 dias (secagem convencional) no tratamento Secagem + Solarização. Nos últimos 30 dias do experimento, adotou-se a solarização que minimizou as variações bruscas no teor de sólidos ocasionadas pela ação climática, mantendo a concentração de sólidos praticamente constante no período.

Quando se compara a camada superficial e profunda para os tratamentos através da análise de variância (TABELA 24), observou-se significância a 1% para os fatores: perfil, tempo e interação entre perfil e tempo, evidenciando diferenças para o teor de sólidos no perfil de lodo em função do tempo, comprovando a diferença estatística entre o teor de sólidos da camada superficial e camada inferior do perfil.

Na Tabela 24, verificou-se significância a 5% para blocos no tratamento Solarização + Secagem, fato associado às diferenças de declividade no terreno, incidência de ventos e radiação solar.

TABELA 24 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE SÓLIDOS NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO

SECAGEM + SOLARIZAÇÃO			
Fonte de Variação	F observado	F requerido	
		5%	1%
• — Parcelas —			
- Blocos	6,23	19,00	99,00
- Perfil	266,38*	18,51	98,50
• — Subparcelas —			
- Tempo	1.357,87*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	77,17*	4,46	8,65
SOLARIZAÇÃO + SECAGEM			
• — Parcelas —			
- Blocos	23,32*	19,00	99,00
- Perfil	277,89*	18,51	98,50
• — Subparcelas —			
- Tempo	158,84*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	16,07*	4,46	8,65

* *significativo*

A Tabela 25 ilustra um teor de sólidos no lodo, estatisticamente igual para os dias 30 e 60 no tratamento Secagem + Solarização para camada superficial e profunda,

uma vez que a evaporação ocorreu principalmente nos primeiros 30 dias. Houve, portanto, a manutenção no teor de umidade das respectivas camadas de lodo, principalmente nos últimos 30 dias, devido à presença do filme plástico (solarização). A camada superficial é estatisticamente diferente da camada profunda em relação à concentração de sólidos (TABELA 26).

Já o tratamento Solarização + Secagem (TABELA 25) apresentou diferenças estatísticas para teor de sólidos na camada superficial e profunda do perfil em função do tempo de avaliação. A solarização neste tratamento não representa grande empecilho à evaporação final, uma vez que nos últimos 30 dias de experimento, o filme plástico não foi utilizado.

TABELA 25 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS PARA MESMA CAMADA DO PERFIL (SUPERFICIAL E PROFUNDA), EM FUNÇÃO DO TEMPO

SECAGEM + SOLARIZAÇÃO			
Superficial		Profunda	
60 dias	44,23 a	60 dias	32,19 a
30 dias	45,14 a	30 dias	30,93 a
0 dias	10,32 b	0 dias	10,32 b
SOLARIZAÇÃO + SECAGEM			
Superficial		Profunda	
60 dias	58,66 a	60 dias	38,52 a
30 dias	27,04 b	30 dias	25,45 b
0 dias	13,86 c	0 dias	13,86 c

↕ *Sentido para comparação estatística*

A Tabela 26 compara as camadas do perfil (superficial e profunda) de lodo através do desdobramento de Tukey, para os tratamentos em função do teor de sólidos. No tratamento Secagem + Solarização já nos primeiros 30 dias houve diferenciação na concentração de sólidos na camada superficial e profunda. Já no tratamento Solarização + Secagem, a diferenciação na concentração de sólidos só ocorreu nos últimos 30 dias, fato associado à presença do filme plástico funcionando como barreira à evaporação da água.

TABELA 26 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS ENTRE CAMADA SUPERFICIAL E PROFUNDA PARA O MESMO NÍVEL DE TEMPO

SECAGEM + SOLARIZAÇÃO					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Teor de Sólidos (%)	Perfil	Teor de Sólidos (%)	Perfil	Teor de Sólidos (%)	Perfil
10,32 a	Superficial	45,14 a	Superficial	44,23 a	Superficial
10,32 a	Profundo	30,93 b	Profundo	32,19 b	Profundo
SOLARIZAÇÃO + SECAGEM					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Teor de Sólidos (%)	Perfil	Teor de Sólidos (%)	Perfil	Teor de Sólidos (%)	Perfil
13,86 a	Superficial	27,04 a	Superficial	58,66 a	Superficial
13,86 a	Profundo	25,45 a	Profundo	38,52 b	Profundo

↕ Sentido para comparação estatística

O desaguamento de lodo na camada profunda do perfil acontece de forma mais lenta quando comparada à camada superficial. O tratamento adotado não tem influência significativa para aumento ou diminuição do teor de sólidos na camada profunda do perfil ao final dos 60 dias (TABELA 23), tendo associado a perda gradativa da água pela percolação, capilaridade, evaporação e carga de sólidos imposta por m² no leito de secagem. No tratamento Solarização + Secagem, observou-se uma superioridade na concentração de sólidos na camada superficial (TABELA 22), fato associado a maior intensidade de evaporação ocorrida neste tratamento, nos últimos 30 dias de experimento (secagem convencional).

Quando comparamos descritivamente as concentrações de sólidos nos diferentes tratamentos, o tratamento Testemunha apresentou superioridade tanto para a camada superficial e profunda do perfil de lodo, apresentando maiores concentrações de sólidos. Esse fato se deve a facilidade de evaporação, que ocorreu porque o tratamento não contou, em momento algum, com impedimento à evaporação, imposto pela presença do filme plástico sobre o lodo.

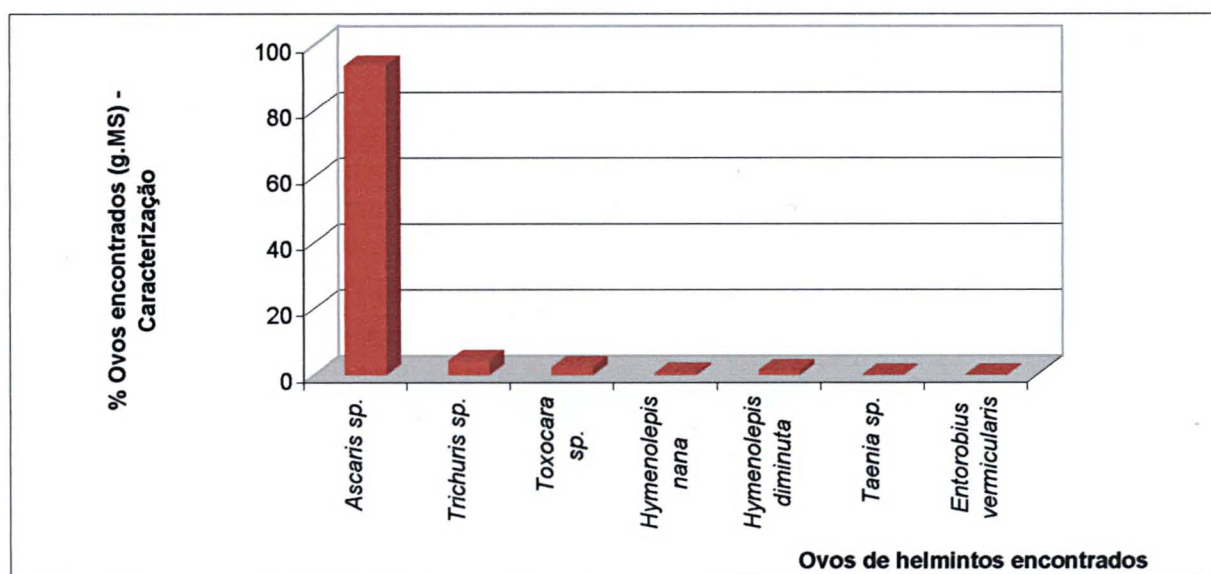
5.4 HIGIENIZAÇÃO

Os ovos de helmintos foram escolhidos como indicadores da qualidade sanitária do lodo por apresentarem elevada resistência, principalmente os ovos de *Ascaris sp.* devido à sua constituição particularmente resistente, podendo sobreviver no solo por um período de até 7 anos (SANEPAR, 1998). Segundo FERREIRA (2001), teoricamente quando os ovos de helmintos forem eliminados, outros organismos patogênicos como bactérias também estarão controlados, pois são os organismos patogênicos bastante resistentes e sua presença representa item restritivo (0,25 ovos g/MS - EPA, 1992), para uso agrícola do lodo de esgoto.

Na análise de caracterização do lodo anaeróbio utilizado no experimento, a espécie de helminto predominante foi a *Ascaris sp.* como ilustra a Figura 28, que pode ser elucidado pelos índices de contaminação da população e da grande capacidade reprodutiva da espécie, uma vez que a fêmea de desta espécie pode realizar uma postura diária de aproximadamente 200 mil ovos (GASPARINI, 1995; BINA, 1991; REY, 1991).

Os resultados confirmam levantamento realizado por THOMAZ-SOCCOL *et al.*, (1998a) na região metropolitana de Curitiba-PR, onde a grande maioria dos ovos de helmintos encontrados em lodo de esgoto anaeróbio é da espécie *Ascaris sp.*, seguido por *Trichuris sp.*, uma vez que a fêmea desta espécie pode realizar postura de 3.000 a 7.000 ovos/dia (REY, 1991). Em São Paulo, CUTOLO e ROCHA (2001) também observaram a prevalência de ovos de *Ascaris sp.* em amostras de esgoto bruto. Portanto, a população pode apresentar um alto grau de infecção de vários parasitas, porém, os ovos de *Ascaris sp.* tendem a ser mais numerosos devido às características peculiares de postura do verme.

FIGURA 28 - PORCENTAGEM DE OVOS DE HELMINTOS ENCONTRADOS NO LODO DE ESGOTO ANAERÓBIO ORIUNDO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA



O número de ovos quantificados no presente trabalho alcançou níveis bastante elevados de até 126,79 ovos por grama de matéria seca, com viabilidade ao redor de 30%. A constatação do elevado número de ovos viáveis de helmintos exhibe um preocupante quadro da realidade local, quanto às condições de saúde da população. CHEHTER e CABEÇA (2001), relatam a existência de aproximadamente 117 milhões de brasileiros infectados por algum tipo de parasitose intestinal.

Torna-se necessário, portanto, não apenas uma medida eficiente para a higienização do lodo contaminado, mas também de uma mobilização conjunta dos órgãos de saúde, empresas de saneamento e da participação de prefeituras, visando identificar regiões endêmicas para que se possam definir critérios e adotar medidas técnicas de tratamento para população e do esgoto doméstico produzido. A redução dos índices de contaminação pode minimizar a contaminação do meio, a concentração de helmintos no lodo de esgoto, melhorando assim a saúde da população, principalmente dos habitantes que vivem em regiões marginalizadas.

É importante ressaltar que mesmo uma contagem negativa, para ovos de helmintos, não garante que o lodo esteja completamente estéril, tendo em vista que nenhuma das metodologias disponíveis garante 100% de recuperação dos ovos eventualmente presentes nas amostras processadas (FERREIRA, 2001; ZERBINI *et*

al., 1999). CASTIÑEIRAS e MARTINS (2002), sugerem a adoção de pelo menos três metodologias diferentes para análise parasitológica das fezes, com objetivo de detectar ovos pesados, ovos leves e larvas, minimizando assim erros de detecção. De acordo com REY (1991) a eficiência de cada método varia em função da espécie parasita.

De acordo com PASSAMANI *et al.*, (2000b) a enumeração de ovos de helmintos, por qualquer técnica não é correta, pela grande variedade de espécies com diferentes tamanhos, gravidade específica e propriedades de superfície, tendo cada uma das técnicas seus pontos fortes e fracos, porém os métodos que utilizam grandes volumes de amostras e maior percentual de recuperação seriam os mais apropriados como a metodologia proposta por YANKO (1987), reconhecida pela EPA (1992) como técnica oficial para contagem de ovos de helmintos no lodo de esgoto e reformulada por THOMAZ-SOCCOL (1998b). Técnica adotada no presente trabalho, expressando resultados em grama/M.S. (matéria seca), com taxa de recuperação dos ovos na ordem de 90% (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1998a).

A rápida sedimentação dos ovos no perfil pode ter interferido na coleta inicial (T0), tendo seus valores subestimados. PRODAMNET (2002), explica a detecção de ovos e larvas de helmintos em amostras fecais, entretanto, constatou maior dificuldade para detecção em amostras líquidas. Com o lodo líquido (89,20% de umidade), a coleta no dia zero, principalmente na camada profunda, tornou-se mais difícil pela própria mobilidade do fluido que tende a dispersar os ovos, podendo ainda os mesmos estarem concentrados e aderidos à partículas sólidas. REY (1991) afirma que a maioria dos ovos de helmintos tendem a ficar agrupados entre si e/ou aderidos à sólidos, fato que dificultou, no presente trabalho, uma coleta de grande representatividade, através da metodologia proposta por TOLEDO e MEDEIROS (2000), principalmente para volumes muito grandes de lodo, como no caso dos leitos de secagem utilizados que comportavam aproximadamente 12m³ de lodo.

Segundo SILVA *et al.*, (2000) o ovo de *Ascaris lumbricoides* possui uma densidade de 1,11 g/cm³, portanto terá uma velocidade de sedimentação próxima a 0,65 m/h e os ovos de *Trichuris trichiura* possuem uma velocidade de sedimentação ao redor de 1,53 m/h, uma vez que sua densidade é de 1,15 g/cm³. Torna-se claro,

portanto, a concentração média de 67,35% aos 30 dias e 85,89% aos 60 dias dos ovos de helmintos viáveis na camada inferior (profunda) do perfil de lodo, comprovando a sedimentação e conseqüente concentração dos ovos no fundo do leito de secagem.

O percentual de ovos de helmintos viáveis observados na camada inferior do perfil de lodo confirma ainda a rápida sedimentação dos mesmos, onde a grande maioria dos ovos de helmintos viáveis que estavam presentes no lodo, concentrou-se na camada profunda do perfil, já nos primeiros 30 dias de avaliação e, posteriormente a sedimentação continuou ocorrendo com menor velocidade, provavelmente dos ovos mais leves, carregados pela chuva. Portanto, verificou-se a necessidade de revisão das metodologias para coletas (amostragens), principalmente para lodo líquido e lodo pastoso disposto em leitos de secagem, através de equipamento específico e padronizado, visando coleta de todo o perfil, buscando desta forma coletas de maior representatividade.

A Tabela 27 exhibe o número de ovos de helmintos viáveis encontrados no lodo de esgoto (perfil todo), condicionado em leitos de secagem, em função do tempo.

TABELA 27 – NÚMERO MÉDIO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS ENCONTRADOS NO LODO (PERFIL TODO) EM FUNÇÃO DO TEMPO E % DE REDUÇÃO EM RELAÇÃO AO NÚMERO INICIAL E FINAL

TRATAMENTO	Zero dia	30 dias	60 dias	%Redução
	Nº ovos viáveis (g.MS)			(Inicial – final)
Testemunha	16,98	11,05	22,24	-30,98
Solarização + Secagem	17,01 a	9,13 b	17,40 a	-02,29
Secagem + Solarização	16,69 a	18,49 a	5,19 b	31,10

↑ Sentido para comparação estatística
↓

Não foram observadas correlações significativas entre o número de ovos de helmintos viáveis com as variáveis monitoras neste trabalho, porém a melhor correlação observada ($r = -0,36$) foi com a temperatura do lodo, ou seja, há uma tendência de inviabilização dos ovos à medida que a temperatura na massa de lodo aumenta, quanto maior a temperatura, maior será o percentual de inviabilização.

5.4.1 Testemunha

Para o lodo do tratamento Testemunha verificou-se que o número de ovos de helmintos viáveis encontrados não se alterou em relação ao tempo, apontando a ineficácia da secagem convencional do lodo em leitos de secagem com objetivo de higienizá-lo, uma vez que os ovos de helmintos sedimentam-se, acumulando-se na camada inferior do perfil, onde encontram umidade e temperatura amena, fatores propícios à sua sobrevivência. O incremento de 30,97% no número de ovos de helmintos viáveis pode não condizer com a realidade, uma vez que o controle Testemunha contou apenas com uma repetição, estando susceptível a uma maior ordem de grandeza de erros amostrais e metodológicos. FERREIRA (2001) em experimento semelhante, realizado também no verão, com duração de 28 dias na região metropolitana de Curitiba, obteve uma redução de 67,33% no número de ovos de helmintos viáveis em lodo disposto em leito de secagem convencional, porém o número de ovos viáveis ainda existente no lodo era ao redor de 12,19 ovos g.MS. KÖNIG *et al.*, (1999) também constataram em experimento semelhante redução de apenas 13% no número de ovos viáveis de *Ascaris sp.* em leito de secagem convencional com período de avaliação de 18 dias para região de clima quente (nordeste brasileiro).

OLIVEIRA (2001) verificou a importância dos insetos no transporte de ovos de helmintos, onde a *Musca domestica* foi a espécie que apresentou maior número de ovos, tanto na superfície do corpo, tanto no conteúdo intestinal. Porém, concordando com PAIVA (1995), acredita-se que as moscas, neste caso, não contribuem para o aumento na carga de ovos e sim os transportam para outros lugares, disseminando os parasitas.

5.4.2 Solarização + Secagem

O tratamento Solarização + Secagem, no tempo 30 dias apresentou uma redução no número de ovos de helmintos viáveis e posterior acréscimo dos mesmos para 60 dias, fato que pode estar associado à grandeza de erros amostrais e

metodológicos, pela própria dificuldade de coletas representativas, uma vez que o lodo de esgoto não é um material homogêneo, e os ovos de helmintos tendem a se concentrar, tanto vertical como horizontalmente no leito de secagem, devido às características peculiares dos ovos destes parasitas, muitas vezes agrupados em grumos e aderidos entre si por substância albuminóide, como no caso dos ovos de *Ascaris sp.* que possuem a casca externa formada por mucopolissacarídeos, material pegajoso (REY, 1991). Portanto, a amostragem e a captura dos ovos de helmintos é dificultada, principalmente em meio líquido, devido ao fator diluição (PRODAMNET, 2002).

O lodo pastoso, assim como o lodo líquido acondicionado em leitos de secagem também apresentou dificuldades de coleta, principalmente para camada inferior do perfil, sendo a amostragem prejudicada devido à impossibilidade de coletar-se o material até o fundo, devido às próprias características físicas do mesmo. Sugere-se avaliações para determinação de metodologias para coletas específicas/adequadas aos diferentes estados do lodo (líquido e pastoso), a exemplo da NBR10.007 que trata da amostragem para resíduos sólidos.

5.4.3 Secagem + Solarização

Segundo REY (1991) o embrionamento dos ovos de *Ascaris sp.* dá-se no meio externo e requer presença de oxigênio, pois nesta fase o parasito queima suas reservas lipídicas e apresenta metabolismo aeróbio. Essa necessidade de oxigênio, além da elevação da temperatura proporcionada pelo filme plástico (solarização), pode explicar a redução dos ovos de helmintos no lodo do tratamento Secagem + Solarização, onde os ovos mais fracos, ou menos adaptados, podem ter morrido pela ausência ou pequena quantidade de oxigênio existente, principalmente na camada profunda do perfil de lodo. Portanto, a progressiva perda de umidade do lodo, picos de temperatura e possíveis zonas de anaerobiose podem ser fatores associados à inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo.

5.4.4 Avaliação Geral e Comparação dos Diferentes Tratamentos para Redução de Viabilidade dos Ovos de Helminthos

Segundo teste F (Fischer), verificou-se significância a 1% para interação entre método e tempo, enfatizando a variação no número de ovos de helmintos viáveis no decorrer do tempo em função do tratamento. Observou-se ainda significância a 5% para o fator tempo, ou seja, o número de ovos viáveis varia no tempo, independentemente do tratamento utilizado (TABELA 28). Portanto, se o período em dias de solarização fosse prolongado, supõe-se que devido à maior exposição dos ovos de helmintos ao estresse de temperatura ocasionado pelo efeito estufa, o número de ovos inviabilizados seria maior.

TABELA 28 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS

Fonte de variação	F observado			F requerido	
	Perfil	Superficial	Profunda	5%	1%
---- Parcelas ----					
-Blocos	3,67	23,52*	1,97	19,00	99,00
-Métodos (tratamentos)	0,39	26,54*	2,71	18,51	98,50
---- Subparcelas ----					
- Tempo	7,19*	41,74*	0,17	4,46	8,65
- Int. Método X Tempo	27,12*	10,20*	22,12*	4,46	8,65

* significativo

Quando se comparou a média obtida nos tratamentos, não se verificou diferença estatística final entre os mesmos, porém, quando se procedeu ao desdobramento estatístico pelo teste de Tukey (TABELA 27) conclui-se que o tratamento Secagem + Solarização foi superior ao tratamento Solarização + Secagem na redução de ovos de helmintos viáveis aos 60 dias de avaliação, fato associado às maiores temperaturas atingidas na massa de lodo pela solarização no período de 31-60 dias. Porém, a redução de ovos não foi suficiente para garantir a utilização segura do lodo como fertilizante agrícola, uma vez que não se atingiu 0,25 ovos g.MS, limite máximo preconizado pela EPA e pela normatização do IAP (Instituto Ambiental do Paraná).

REY (1991) verificou que a temperatura e umidade são fatores que influenciam o desenvolvimento larvário dos helmintos, porém, particularmente o *Ascaris sp.* possui uma casca ovular grossa que lhe protege das condições adversas do meio. Temperaturas na faixa de 20°C - 30°C são consideradas ótimas e permitem um desenvolvimento rápido das larvas (REY, 1991), podendo se desenvolver normalmente em temperaturas de 15 - 35°C (PESSÔA e MARTINS, 1974).

De acordo com a citação dos autores acima, a mais alta correlação observada para viabilidade dos ovos de helmintos, foi com a variável independente de temperatura do lodo ($r = -0,53$). À medida que a temperatura do lodo aumenta, a viabilidade dos ovos diminui, no entanto não se verificou correlação entre número de ovos viáveis e teor de sólidos no lodo (ANEXO I). Portanto, as temperaturas atingidas na massa de lodo pelos diferentes tratamentos, não foram agressivas aos ovos, mas ao contrário, mantiveram condições ótimas, ou muito próximas, para o seu desenvolvimento e manutenção. Acredita-se que a inviabilização dos ovos, ocorreu em exemplares mais fracos, mais expostos e menos adaptados através da sinergia entre ambiente anaeróbio (ausência de oxigênio), dessecação e eventuais picos de temperaturas, acima de 35°C.

5.4.5 Concentração de Ovos de Helmintos de Forma Estratificada

Conforme observado por SILVA *et al.*, (2000) no desaguamento do lodo em leitos de secagem, os ovos de helmintos tendem a se concentrar na camada inferior do perfil de lodo, fato associado ao peso específico dos ovos. Portanto, é necessária a adoção de tecnologias para higienização que atinjam os ovos na camada profunda do perfil, local de maior concentração dos mesmos.

5.4.5.1 Camada superficial

A análise de variância realizada para o número de ovos de helmintos viáveis na camada superficial do perfil (TABELA 28), mostrou significância a 1% para os

fatores tempo e interação entre método x tempo, evidenciando a ação do tempo na redução no número de ovos de helmintos viáveis na camada superficial do perfil de lodo.

No nível de 5% de significância para os elementos blocos e método, observou-se que a quantidade de ovos de helmintos viáveis na camada superficial foi diferente em função do tratamento adotado. Este fato pode ser associado, de acordo com FERREIRA (2001), à grande heterogeneidade do lodo quanto à concentração de ovos de helmintos, diferença de peso específico de ovos das diferentes espécies (sedimentação) e ainda à desuniformidade de incidência da radiação solar e conseqüente inviabilização dos mesmos.

Correlação significativa foi observada entre radiação solar e número de ovos viáveis ($r = -0,67$). Portanto, quanto maior a radiação solar, menor a viabilidade dos ovos, ou maior número de ovos de helmintos serão inviabilizados (ANEXO I). De acordo com KATAN (1994), solos com 10cm de profundidade alcançaram temperaturas ao redor de 48°C, portanto, camadas menos espessas de lodo atingiriam temperaturas mais elevadas pelo incremento da solarização.

Realizando-se desdobramento pelo teste de Tukey para concentração de ovos de helmintos viáveis na camada superficial do perfil em função do tempo (TABELA 31) observou-se que o lodo do tratamento Solarização + Secagem apresentou número de ovos de helmintos viáveis, estatisticamente iguais nos períodos de 30 e 60 dias.

O lodo do tratamento Secagem + Solarização apresentou igualdade estatística na concentração de ovos nos dias zero e 30, evidenciando a importância da solarização, neste tratamento, para redução da viabilidade dos ovos de helmintos.

A redução no número de ovos de helmintos viáveis na camada superficial do perfil de lodo, além da inviabilização dos mesmos, está relacionada também à sedimentação dos ovos para camadas mais profundas do perfil.

A Tabela 29 permite concluir que o tratamento Secagem + Solarização ao final dos 60 dias apresentou uma eficiência ligeiramente superior para redução de ovos de helmintos viáveis, na camada superficial do lodo, alcançando uma redução de 90,29% contra 87,77% do tratamento Solarização + Secagem. Porém, os percentuais de

redução observados nos respectivos tratamentos, podem ser considerados estatisticamente iguais.

TABELA 29 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA CAMADA SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento	Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento	Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento
17,01 a	Sol + Sec	16,16 a	Sec + Sol	2,08 a	Sol + Sec
16,69 a	Sec + Sol	3,69 b	Sol + Sec	1,62 a	Sec + Sol

↑ Sentido para comparação estatística
↓

Os mais altos coeficientes de correlação foram observados entre número de ovos de helmintos viáveis e as variáveis independentes para camada superficial do perfil de lodo: concentração de sólidos ($r = -0,40$), temperatura do lodo ($r = -0,77$) e umidade relativa do ar ($r = 0,70$). É importante ressaltar que os fatores sedimentação de ovos e solarização não foram mensurados e/ou correlacionados, portanto, as correlações acima citadas certamente foram influenciadas pela sedimentação dos ovos, que se acumularam na camada inferior do perfil de lodo.

5.4.5.2 Camada profunda

Na camada profunda do perfil, através da análise de variância (TABELA 28) observou-se significância a 1% para interação entre método x tempo, evidenciando uma alteração na concentração de ovos de helmintos viáveis na camada profunda do perfil de lodo em função do tempo e tratamento adotado.

Na camada profunda do perfil, através do desdobramento pelo teste de Tukey para a concentração de ovos de helmintos viáveis em função do tempo (TABELA 31), observou-se que o tratamento Solarização + Secagem apresentou aumento no número de ovos, fato associado à sedimentação dos mesmos.

No tratamento Secagem + Solarização, houve redução no número de ovos helmintos viáveis presentes no lodo, fato associado ao efeito solarização, que ocasionou temperaturas mais elevadas também para camada profunda do perfil.

A Tabela 30 ilustra através da comparação de médias, diferenças estatísticas entre o tratamento Solarização + Secagem e Secagem + Solarização para concentração de ovos de helmintos viáveis na camada profunda do perfil para os períodos de avaliação de 30 e 60 dias. Portanto, o tratamento Secagem + Solarização foi mais eficiente na redução de ovos de helmintos viáveis na camada inferior do perfil de lodo uma vez que a solarização teve seu efeito maximizado pela redução na altura do perfil e quantidade de água presente no lodo.

TABELA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO MÉTODO, PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO PARA A CAMADA PROFUNDA EM PERFIL DE LODO

Zero dias		30 dias		60 dias	
Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento	Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento	Nº ovos viáveis (g.MS)	Tratamento
17,01 a	Sol + Sec	19,68 a	Sec + Sol	25,06 a	Sol + Sec
16,69 a	Sec + Sol	11,85 b	Sol + Sec	6,98 b	Sec + Sol

↕ Sentido para comparação estatística

5.4.5.3 Avaliação geral e comparação dos tratamentos em função da camada do perfil de lodo e redução no número de ovos de helmintos viáveis

Quando se compara a concentração de ovos de helmintos viáveis em diferentes profundidades no perfil de lodo, a camada superficial ($1/3$ superior) possuía uma menor concentração de ovos, em comparação à camada profunda ($2/3$ inferiores). A Tabela 31 mostra os valores de ovos viáveis presentes no lodo em g.MS nos diferentes tratamentos.

TABELA 31 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO PARA DIFERENTES TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DO TEMPO

		0 DIAS	30 DIAS	60 DIAS	%
		Nº ovos viáveis g.MS			REDUÇÃO
Testemunha	<i>Superficial</i>	16,98	9,4	8,47	50,12%
	<i>Profundo</i>		11,87	29,13	-71,55%
Solarização + Secagem	<i>Superficial</i>	17,01 a	3,69 b	2,08 b	87,77%
	<i>Profundo</i>	b	11,85 b	26,06 a	-53,20%
Secagem + Solarização	<i>Superficial</i>	16,69 a	16,16 a	1,52 b	90,89%
	<i>Profundo</i>	a	19,66 a	6,98 b	58,18%

↔ sentido para comparação estatística

As Figuras 29, 30 e 31 ilustram graficamente a tendência comportamental da sedimentação dos ovos de helmintos viáveis em função do tempo no perfil de lodo para os referidos tratamentos. Observou-se a redução dos ovos na camada superficial e o conseqüente acúmulo dos ovos na camada profunda do perfil. Exceção comportamental observa-se na Figura 31 (tratamento Secagem + Solarização), onde também existiu uma redução no número de ovos de helmintos viáveis na camada profunda do perfil. Essa redução pode estar associada à maior elevação na temperatura (efeito estufa) e também a menor umidade do lodo no momento do processo de solarização. PESSÔA e MARTINS (1974) afirmam que a temperatura tem ação complementar com a dessecação, ou seja, quanto mais elevada for a temperatura, mais fraca será a resistência à dessecação e vice-versa. Segundo os mesmos autores, a taxa de umidade favorável para o desenvolvimento dos ovos de helmintos é dada em função da temperatura, onde numa temperatura de 30°C, a taxa de umidade seria de 90-95%, já com temperatura de 20°C a umidade cai para 80-85%. No presente estudo, a taxa de umidade estava ao redor de 64% com temperaturas médias de 26,56°C para o tratamento Secagem + Solarização, e para o tratamento Solarização + Secagem, a média de temperatura nos últimos 30 dias encontrava-se ao redor de 24°C com 55% de umidade. Portanto, a redução no número de ovos de helmintos verificada no tratamento Secagem + Solarização é resultado de uma ação sinérgica entre temperatura e dessecação.

FIGURA 29 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO TESTEMUNHA).

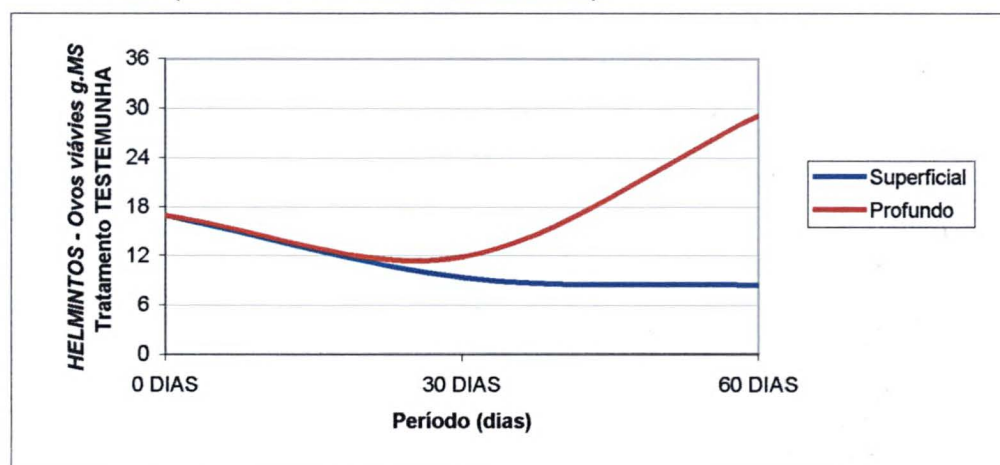


FIGURA 30 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO SOLARIZAÇÃO + SECAGEM).

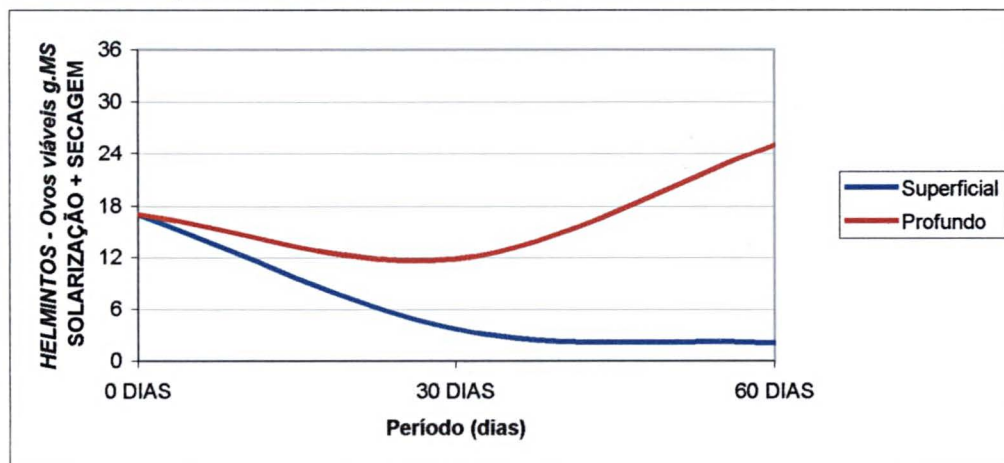
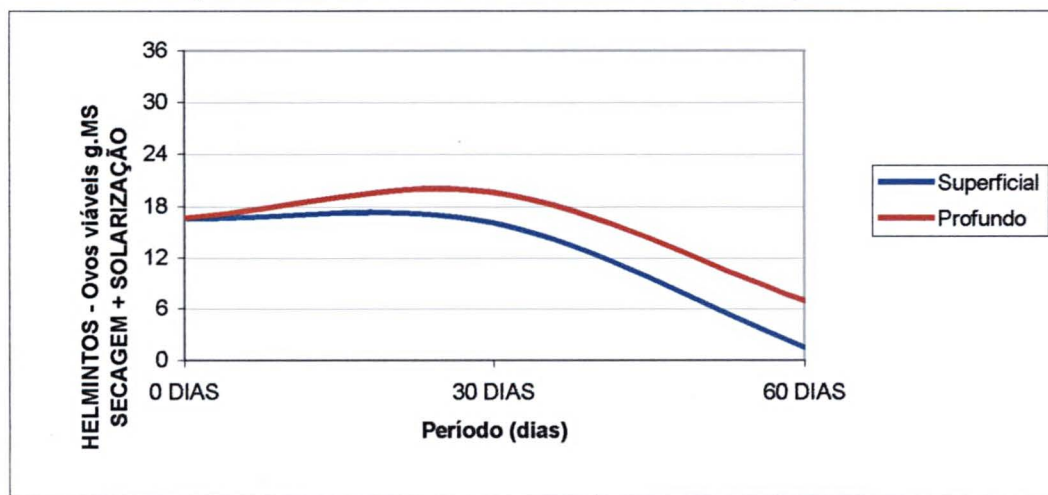


FIGURA 31 – NÚMERO DE OVOS VIÁVEIS EM PERFIL DE LODO NO DECORRER DE 60 DIAS (TRATAMENTO SECAGEM + SOLARIZAÇÃO).



Quando se compara a camada superficial e profunda no tratamento Secagem + Solarização (TABELA 32), observou-se significância a 1% para o fator tempo, evidenciando as diferenças na concentração de ovos de helmintos viáveis apenas no decorrer do tempo, ou seja, os ovos de helmintos sedimentaram-se, concentrando-se no fundo do leito de secagem, onde por associação de fatores (temperatura, umidade e anaerobiose), parte dos mesmos foram inviabilizados, explicando assim a igualdade estatística em número de ovos para as diferentes camadas do perfil de lodo (superficial e profunda) no respectivo tratamento.

Para o tratamento Solarização + Secagem, observou-se ao nível de 1% de significância para os fatores: blocos, perfil, tempo e interação entre tempo x método.

TABELA 32 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS NA CAMADA PROFUNDA E SUPERFICIAL DO PERFIL DE LODO NOS RESPECTIVOS TRATAMENTOS ADOTADOS

SECAGEM + SOLARIZAÇÃO			
Fonte de Variação	F observado	5%	F requerido
• --- Parcelas ---			
- Blocos	5,27	19,00	99,00
- Perfil	7,62	18,51	98,50
• --- Subparcelas ---			
- Tempo	40,33*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	1,32	4,46	8,65
SOLARIZAÇÃO + SECAGEM			
• --- Parcelas ---			
- Blocos	185,01*	19,00	99,00
- Perfil	978,06*	18,51	98,50
• --- Subparcelas ---			
- Tempo	11,33*	4,46	8,65
- Int. Perfil X Tempo	17,62*	4,46	8,65

*significativo

A sedimentação dos ovos de helmintos viáveis é confirmada pelas Tabelas 33 e 34, onde a maior concentração de ovos foi observada na camada profunda do perfil de lodo. No tratamento Solarização + Secagem o número de ovos viáveis na camada superficial, reduziu-se apenas nos primeiro 30 dias, fato associado à rápida sedimentação dos mesmos.

TABELA 33 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS PARA AS CAMADAS SUPERFICIAL E PROFUNDA, EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS

SOLARIZAÇÃO + SECAGEM			
Superficial		Profunda	
0 dias	17,01 a	0 dias	17,01 b
30 dias	3,69 b	30 dias	11,85 b
60 dias	2,08 b	60 dias	25,06 a

↕ Sentido para comparação estatística

A Tabela 34 permite comparar as camadas do perfil de lodo (superficial e profunda) para o tratamento Solarização + Secagem pelo desdobramento de Tukey. Observou-se que a concentração de ovos de helmintos viáveis é diferente nos períodos

de avaliação para a camada superficial e profunda, tendo a maior concentração de ovos na camada profunda do perfil (efeito sedimentação).

TABELA 34 – COMPARAÇÃO ENTRE MÉDIAS EM FUNÇÃO DO PERFIL, PARA NÚMERO DE OVOS DE HELMINTOS VIÁVEIS, NO MESMO NÍVEL DE TEMPO

SOLARIZAÇÃO + SECAGEM					
Zero dias		30 dias		60 dias	
Nº ovos viáveis (g.MS)	Perfil	Nº ovos viáveis (g.MS)	Perfil	Nº ovos viáveis (g.MS)	Perfil
17,01 a	Superficial	11,85 a	Profundo	26,06 a	Profundo
17,01 a	Profundo	3,69 b	Superficial	2,08 b	Superficial

↕ *Sentido para comparação estatística*

Quando comparamos descritivamente as concentrações de ovos de helmintos viáveis, o controle Testemunha contou com uma concentração maior de ovos, uma vez que não utilizou solarização, obtendo temperaturas mais baixas na massa de lodo, insuficientes para inviabilizar os ovos de helmintos ali existentes.

5.5 DISCUSSÃO GERAL

Quando se pretende apenas o desaguamento do lodo, em leitos de secagem, o método mais indicado é o da secagem convencional ao céu aberto, comumente utilizada na ETE's do Estado do Paraná. Porém, o leito de secagem, por si só, nas condições climáticas da região metropolitana de Curitiba, não é suficiente para higienizar o lodo.

A solarização apresenta um custo mínimo, ou seja, apenas a aquisição o filme plástico, ao redor de R\$ 1,70 o metro, muito abaixo de outras tecnologias utilizadas para higienização de lodo de esgoto. O tratamento Secagem + Solarização apresentou bons índices na redução do número de ovos de helmintos viáveis presentes no lodo, porém, a inviabilização ao redor de 31,10% não foi suficiente para que o lodo pudesse ser utilizado com segurança sanitária na reciclagem agrícola. Porém, o processo de solarização para região de Curitiba e regiões com baixa irradiação solar, pode ser adotada como medida de pré-higienização, minimizando custos posteriores como no

caso da caleação, necessitando de uma quantidade menor de cal, por exemplo, para atingir os níveis sanitários recomendados para uso agrícola do biossólido.

6 CONCLUSÕES

A camada superficial do perfil de lodo está mais susceptível aos fatores climáticos, portanto, houve maior concentração de sólidos para esta camada.

Temperaturas mais elevadas foram observadas na massa de lodo para períodos de solarização, sendo o efeito da solarização maximizado no tratamento Secagem + Solarização pela redução no teor de água e conseqüente redução na altura do perfil.

O tratamento Solarização + Secagem alcançou temperaturas elevadas, porém, apenas superficialmente, onde a solarização não foi suficientemente eficaz para elevar a temperatura de maneira uniforme na massa de lodo. Conclui-se que a altura do perfil de lodo é fundamental para maior ou menor eficiência da solarização em promover o aumento de temperatura e conseqüente higienização do lodo.

A carga de sólidos utilizada ($34,5 \text{ kg.ST/m}^2$) nos leitos de secagem, apresentou melhores resultados para desaguamento de lodo no tratamento Testemunha – 47% ST (secagem convencional). Estatisticamente o teor de sólidos para os tratamentos (Solarização + Secagem – 45% ST e Secagem + Solarização – 36% ST) não apresentou diferença, porém, economicamente os valores podem ser significativos.

Para as condições climáticas da região metropolitana de Curitiba, com alta umidade relativa do ar, altas cargas de sólidos por m^2 podem dificultar a obtenção de uma concentração de sólidos homogênea no perfil de lodo. Portanto, descargas de lodo com taxas de sólidos mais baixas por m^2 necessitam de menor tempo de secagem/permanência nos leitos.

As temperaturas atingidas na massa de lodo não foram suficientemente altas para eliminar todos os ovos de helmintos presentes. Ao final do experimento, o lodo do tratamento Secagem + Solarização, ainda apresentava 5,19 ovos de helmintos viáveis g.MS, com 31,10% de redução para o período de avaliação de 60 dias. Esse percentual de inviabilização não foi suficiente para garantir o uso do lodo na reciclagem agrícola, uma

vez que a instrução normativa paranaense (2002) e a EPA (1992) preconizam um limite máximo de 0,25 ovos viáveis g.MS, garantindo assim a segurança sanitária do processo.

A inativação dos ovos de helmintos pode ter ocorrido devido à associação de vários fatores como: anaerobiose, temperatura e umidade, uma vez que as temperaturas observadas na massa de lodo não foram muito elevadas. A inviabilização dos ovos de helmintos não foi maior pela dificuldade de se manter e elevar a temperatura na camada profunda do perfil de lodo.

Com os resultados obtidos no presente trabalho, constatou-se que a solarização para as condições climáticas da região metropolitana de Curitiba (Paraná) e regiões de baixa irradiação solar e com alta umidade relativa do ar, não é eficiente para inviabilizar 100% dos ovos de helmintos presentes no lodo de esgoto, além de apresentar difícil manejo associado à baixa durabilidade do filme plástico, que com o passar do tempo vai perdendo sua transparência. Todavia, reduções de 90,89% no número de ovos de helmintos viáveis foram obtidas na camada superficial e 58,18% na camada profunda do perfil de lodo no tratamento Secagem + Solarização.

As metodologias para amostragem de lodo líquido anaeróbico em leitos de secagem, com vistas a análises microbiológicas, devem ser revistas, visando uma melhor representatividade para coletas.

Com a realização deste trabalho, pôde-se constatar elevado grau de parasitoses na população, esboçando um preocupante quadro sanitário local, uma vez que a quantidade de patógenos presentes no lodo reflete diretamente as condições de saúde da população.

7 RECOMENDAÇÕES

Para maximizar o efeito da solarização, nos leitos de secagem, as descargas devem ser realizadas com lâminas (camada) de lodo menores ou carga de sólidos inferiores a 34 kg.ST m^2 , potencializando a elevação da temperatura na camada profunda do perfil, local onde os ovos de helmintos tendem a se concentrar.

A solarização é uma tecnologia de baixo custo, podendo ser empregada com sucesso para higienização do lodo de esgoto em regiões que apresentem alta radiação solar, como por exemplo o nordeste brasileiro, ou ainda como medida de pré-higienização, minimizando custos posteriores como redução na quantidade de cal, quando a caleação for a medida adotada para higienização do mesmo.

Torna-se necessário a criação/adaptação de tecnologias para higienização, que afetem os ovos na camada inferior do perfil de lodo, local comprovadamente com maior concentração dos ovos de helmintos.

Necessidade de se determinar número ideal de sub-amostras para formação de amostra composta, bem como método para coletas, de acordo com o volume a ser representado, garantindo amostras de alta representatividade, principalmente para materiais muito heterogêneos como o caso do lodo de esgoto.

Adoção de coletas padronizadas através de equipamento que possibilite a amostragem completa do perfil de lodo e posteriormente se possa fracioná-lo. Criação de equipamento específico para coleta do lodo de esgoto disposto em leitos de secagem, em meio líquido, pastoso e sólido.

A contaminação do lodo por ovos de helmintos está diretamente relacionada às condições de saúde da população, portanto, a união dos órgãos de saúde e saneamento, bem como recursos técnicos apropriados devem ser utilizados a fim de unificar critérios e recursos que facilitem a abrangência de áreas comprovadamente endêmicas num programa para tratamento direto do esgoto e da população, solucionando assim, indiretamente a concentração de parasitas comumente encontrados no lodo de esgoto.

O risco de transmissão de helmintíases, pela contaminação do lodo, pode ser reduzido nos centros urbanos, através da disponibilização de infra-estrutura básica mínima para a população, envolvendo construção de redes e sistemas de tratamento e destinação adequadas ao lodo de esgoto. O planejamento das ações deve considerar as características demográficas e culturais da população, onde as medidas de prevenção devem incluir o tratamento coletivo da população de regiões comprovadamente endêmicas, através de estudos epidemiológicos e associativos à cargas patogênicas do lodo. Conseqüentemente haveria melhoria na qualidade sanitária do lodo e, redução de custos para higienizá-lo, uma vez que a concentração de patógenos seria naturalmente reduzida.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 570** : Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1990.

_____. - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007** : Amostragem de Resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ABREU, F.G. Aspectos microclimáticos da solarização no solo. In: **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.145-155, Jan à Jun. 1994.

ABREU, S. L. Estações Solarimétricas – instrumentos de medição e sistema de aquisição de sinais (Estações Gerenciadas pelo LABSOLAR). In: MONTENEGRO, A. de A. (3ª Edição). **Fontes Não-convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa**. Florianópolis: LABSOLAR, 2000. p.101-114.

AISSE, M.M.; ANDREOLI, F. de N. Estudo da Desidratação do Lodo Anaeróbio, Obtido em Reatores tipo RALF, Através do uso de Leito de Secagem e de Centrifuga Tipo Decanter. **Revista Sanare**, Curitiba, v.11, n.11, p. 37-43, Jan à Jun. 1999a.

_____; FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (ORGS). **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. Curitiba : SANEPAR/FINEP, 1999b, p.49-119.

_____; VAN HAANDEL, A.C.; SPERLING, M.V.; CAMPOS, J.R.; CORAUCCI FILHO, B.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento e Destino Final do Lodo Gerado em Reatores Anaeróbios. In: CAMPOS, José Roberto (Ed.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**: Rio de Janeiro: ABES, 1999c, p.271-299

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de Esgoto e Geração de Lodo. In: BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio A. (Ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.11-24.

_____. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed). **Biossólidos na Agricultura**. 1ª edição, São Paulo : SABESP, 2001, p.7-40.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.F.; CHERUBINI, C.; TELES, C.R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. (Coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro : RiMa/ABES, 2001a p.87-120.

_____. **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura e sua Influência em Parâmetros Ambientais**. Curitiba, 276, tese, Doutorado, Universidade Federal do Paraná, 1999.

_____; PEGORINI, E.S. Gestão de Biossólidos: Situação e Perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/ABES, 1998a. p.11-18.

_____; PEGORINI, E.S. Proposta de Roteiro para Elaboração de Planos de Distribuição de Lodo. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba-PR. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998b. p.291-300.

_____; PEGORINI, E.S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. (Ed). **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG : Companhia de Saneamento do Paraná, 2001b. p. 319-397.

_____; FERREIRA, A.C.; BONNET, B.R.P.; FERNANDES, F.; LARA, A.I.; PEGORINI, E. Produção Real e Estimativas Teóricas de Lodo de Esgoto no Estado do Paraná In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.231-238.

ANTONIUK, A. Cisticercose e Saúde Pública. In: ENCONTRO DO CONE SUL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO SOBRE TENÍASE E CISTICERCOSE, 1º, Curitiba-PR. *Anais...* Curitiba : SESA : UFPR : OPAS : MS/FNS, 1994. p.36-44.

APHA – **American Public Health Association**. Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater. 19º Ed, Washington D.C., 1998.

BERNARDES, R.S.; CAIXETA, D.M.; MORAES, L.R.C. de. **Desinfecção de Água por Exposição à Luz Solar**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro: ABES v.4, n.1 e n.2, p.7-10. Jan/Mar e Abr/Jun 1999.

_____. Estabilização de poluentes por disposição no solo. *Revista DAE*, São Paulo : Sabesp, v.46, n.145, p. 129-145, Junho 1986.

BEZERRA, Arnaldo Moura. **Energia e Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.netwaybbs.com.br/arnaldo/energiaemeio.htm> Arquivo acessado em 2001.

BIDONE, F.R.A. Alternativas de Disposição Final de Biossólidos: Aterros, Landfarming e Incineração. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.131-135.

BINA, J.C. Ascaridíase. In: VERONESI, R.; FOCACCIA, R.; DIETZE, R. (Org). **Doenças infecciosas e parasitárias**. 8ª edição : Guanabara Koogan, 1991. p.813-816.

BONNET, B.R.P.; LARA, A.I. de.; DOMASZAK, S.C. Indicadores Biológicos de Qualidade Sanitária do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Ed.). **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**: Curitiba : Sanepar, 1998. p.11-26.

BORGES, M.L.V. **Perspectivas da Solarização do Solo em Portugal**. In: Revista de Ciências Agrárias. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.51-65, Jan à Jun. 1994.

BRANDRÃO, C.C.S.; MONTEIRO, P.C.G.; FONSECA, B.M.; ARANTES, C. Avaliação da desinfecção solar na região centro-oeste do Brasil usando diferentes organismos indicadores de contaminação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII, Porto Alegre-RS. *Anais...* Porto Alegre : ABES, 2000.

BROWN, L. Qualidade de Vida – 1991. Salve o Planeta. **Worldwatch Institute**. Ed Globo S.A. 323 p. São Paulo, 1991.

CAMPOS, R. Teníases. In: VERONESI, R.; FOCACCIA, R.; DIETZE, R. (Org). **Doenças infecciosas e parasitárias**. 8ª edição : Guanabara, 1991. p.817-819.

CANZIANI, J,R,F. et al. Aspectos sócio econômicos. In: **Reciclagem de biossólidos : transformando problemas em soluções** : Curitiba : SANEPAR, 1996.

CARRINGTON, E. G. **The fate of pathogenic micro-organisms during waste-water treatment and disposal**. Water Research Centre – Technical report n 128, 58, 1980.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v.3, n.2, p.3-5, 1981.

CASTIÑEIRAS, T.M.P.P.; MARTINS, F.S.V. **Infecções por helmintos e enteroprotzoários**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ : centro de informação em saúde para viajantes – Cives. Disponível em <http://www.cives.ufrj.br/informes/hel-ou.pdf> Arquivo acessado em 2002.

CHEHTER, Luiz; CABEÇA, Marcos. Como Diagnosticar e Tratar Parasitoses Intestinais. **Revista Brasileira de Medicina (RBM)**, v.57, n.12, Dezembro de 2000. Disponível em <http://www.medicobrasil.com.br/rbm/rbm1200/rbmparasitose.htm> Arquivo acessado em 2001.

CHERNICHARO, C.A. de L.; VAN HAANDEL, A.; AISSE, M.M.; CAVALCANTI, A.F.F. Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo. In: CAMPOS, José Roberto (Ed.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**: Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.155-198

CLAPP, C.E.; STARK, S.A.; CLAY, D.E. Sewage sludge organic matter and soil properties. In: CHEN, Y. & AVNIMELECH, Y. **The role of organic matter in modern agriculture**. Nethearlands : Martinus Nijhoff, 1986. p.209-253.

CORDEIRO, J. S. Análise dos arranjos dos leitos de secagem para remoção de água de resíduos de ETA's. In: **SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX** – SILUBESA, 2000, Porto Seguro-BA. **Anais...** Porto Seguro : ABES, III-060, 2000.

_____; CAMPOS, José Roberto. A remoção de águas de lodos de estações de tratamento de águas em leitos de secagem não convencionais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18º**, Salvador-BA. **Anais...** Salvador : ABES, 1995.

COSTA, H.M.A. Helmintos. In: NEVES, D.P. (Ed). **Parasitologia humana**. 8ª edição : Atheneu, Belo Horizonte-MG, 1991. p.186-196.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Radiação Solar e Terrestre**. Disponível em: <http://yabae.cptec.inpe.br/personal/metsat/hpradsat/radiacao.htm> Arquivo acessado em 2001.

_____- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Radiação Solar**. Disponível em: http://www3.cptec.inpe.br/~ensinop/radia_solar.htm Arquivo acessado em 2002.

CRESESB. **Potencial Solar - Sundata**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm> Arquivo acessado em 2001.

CUTOLO, S.A.; ROCHA, A.A. Uso de águas residuárias e as helmintíases. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º**, João Pessoa – PB. **Anais...** João Pessoa : ABES, VII017, 2001.

DALTRO FILHO, J.; NÓBREGA, C.C.; SOUZA, A.M. Desidratação de Lodo em Leito de Secagem, na Cidade de Aracajú-se: Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VI, 1994, Vol I, Tomo I, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis-SC : ABES, 1994. p.447-466.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J.R. Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola. In: XXVI CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, *Anais...* Bratar, 2000.

DAVID, A.C.; TSUTIYA, M.T. Secagem térmica de biossólidos. In: XI ENCONTRO TÉCNICO ALSABESP, 2000.

DAVIES-COLLEY, R.J.; DONNISON, A.M.; SPEED, D.J. **Sunlight wavelengths inactivating faecal indicator microorganisms in waste stabilization ponds.** Wat. Sci. Tech., v.35, n. 11-12, p.219-225, 1997.

DAVIS, R.D.; HALL, J.E. Production, treatment and disposal of wastewater sludge in Europe from a UK perspective. **European water pollution control**, v.7, n.2, March, 1997.

ELOGICA. **Energia Solar.** Disponível em: <http://www.elogica.br.inter.net/ladislau/solar.htm> Arquivo acessado em 2002.

EMBRAPA FLORESTA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Dados meteorológicos dos meses de fevereiro e março do ano de 2001**, 2001.

Environmental Protection Agency – EPA (1992). Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual**. 7.ed. Cincinnati : AOAC, 1992.

_____ – EPA (1999). **Biosolids generation, use and disposal in The United States.** USA (EPA 530-R-99-009).

EPS - ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA. Environmental Canasa. **Manual fot application of treared municipal wastewarer and sludge.** Ontario : EPS, 1984. 216 P. (6-EP-84-1).

FERNANDES, F. **Estabilização e Higienização de Biossólidos.** In: In: BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio A. (Ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto.** Jaguariúna, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.45-68.

_____. **Produção e Processamento de Biossólidos - Estabilização e Higienização.** In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.47-50.

FERREIRA, A. C. **Monitoramento do Uso de Estufa Plástica e Aproveitamento do Biogás na Secagem e Desinfecção de Lodo Anaeróbio em Leito de Secagem.** Curitiba, 98p. Tese, Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2001.

FILHO, P.M. **Reciclagem da Matéria Orgânica Através da Vermicompostagem.** In: Francisco R.A. (Ed). **Metodologia e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos.** ABES, 1999. Rio de Janeiro – RJ p.31.

GASPARINI, E.A. **Atualização em Parasitoses Intestinais.** In: **Jornal Brasileiro de Medicina.** v..68, n.4, p.115-132, Abril - 1995.

GATE. **Parasitoses Intestinais.** Disponível em <http://www.drgate.com.br/artigos/parasitoses/parasitoses.htm> Arquivo acessado em 2001.

GHINI, R. **Desinfestação do solo com o uso de energia solar: Solarização e Coletor Solar.** Jaguariúna : Embrapa – CNPMA, 1997. 29p.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística Experimental.** 12ª Ed, Livraria Nobel : Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba : SP, 1987.

GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; SPERLING, M.V. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. (Ed). **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG : Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 159-259.

_____. Opções Tecnológicas para Minimização da Produtividade de Lodos de Esgoto no Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.41-45.

_____; LUDUVICE, Maurício. Alternativas de Minimização da Produção e Desaguamento de Lodo de esgoto. In: BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio A. (Ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto.** Jaguariúna, SP : EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.25-44.

HAYS, B. D. **Review paper: potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges.** Water Research, Great Britain, v.1, 1977, p.583-595.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná.** Londrina/PR, 41 p. 1978.

IDE, C.N.; DEUS, A.B.S. de; LUCA, S.J. de; BIDONE, F.R. Tratamento do Lodo Bruto com Cal – Influência na Sobrevivência de Patógenos e na Imobilização de Metais Pesados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17º, 1993, **Anais...** Vol.2, Tomo I, Natal-RN : ABES, 1993.

IGLÉSIAS, J.D.F. **Aspectos médicos das parasitoses humanas.** MEDSI, 1997.

INFOLINK. **A radiação solar.** Disponível em <http://www.infolink.com.br/uvsolar> Arquivo acessado em 2001.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KARABOLAD, J.C. et al.,. Aterro Exclusivo para Lodo/Bíossólido de ETE's – Alternativa para a Disposição Final. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.137-143.

KATAN, J. **Soil Solarization: Status and Future Developments.** In: Revista de Ciências Agrárias. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.23-34, Jan à Jun. 1994.

KATO, M.T.; ANDRADE NETO, C.O.; CHERNICHARO, C.A. de L.; FORESTI, E.; CYBIS, L.F. Configurações de Reatores Anaeróbios. In: CAMPOS, José Roberto (Ed.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.53-99

KOLLER, L.R. **Ultraviolet radiation.** London, John Wiley & Sons. 1952.

KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; CAETANO, A.M. O tempo de decantação influenciando no aumento do número de ovos de helmintos em amostras de esgoto bruto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º, João Pessoa – PB. *Anais...* João Pessoa : ABES, II109, 2001.

_____; SUASSUNA, R.C.A.; OLIVEIRA, R.; CEBALLOS, B.S.O. Helmintos em lodos brutos e digeridos de uma ETE convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro-RJ. *Anais...* Rio de Janeiro : ABES, 1999, p.605-611.

LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. (Ed). *Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG : Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 465-483.

LIMA, M.R.P.; MÜLLER, P.S.G.; GONÇALVES, R.F. Desidratação de Lodo em Lagoas Anaeróbias de Estabilização em Leitos de Secagem na Região Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.211-222.

LINO JÚNIOR, R.S.; REIS, M.A.; TEIXEIRA, V.P.A. *Anatomia Patológica das Doenças Infecciosas e Parasitárias*. Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro (FMTM), Uberaba - MG. Disponível em <http://www.mednet.com.br/instpub/patge/cisticercose.htm> Arquivo acessado em 1999.

LUDUVICE, M. Gestão de BÍOSSÓLIDOS e o Mercosul. In: SEMINÁRIO SOBRE O GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I, Curitiba – PR. *Anais...* Curitiba : SANEPAR : ABES, 1998. p.09-10.

_____; FERNANDES, F. Principais tipos de transformação e descarte de lodo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. (Ed). *Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG : Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 399-423.

MIKI, M.K.; ANDRIGUETI, E.J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed). *BÍOSSÓLIDOS na Agricultura*. 1ª edição, São Paulo : SABESP, 2001, p.41-87.

MONTENEGRO, A.A. *Fontes Não-convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa*. Florianópolis: LABSOLAR, 2000.

MOTTA, R.S.; MENDES, A.P.F.; MENDES, F.E.; YOUNG, C.E.F. Perdas e serviços ambientais no recurso água para uso doméstico. Pesquisa e planejamento econômico, v24, n.1, p.35-72, abril 1994.

NETHER, J. Energia solar pode controlar doenças e plantas daninhas. Disponível em <http://www.siterural.com.br> Arquivo acessado em 2000.

OLIVEIRA, V.C. A importância no Transporte de Ovos de Helmintos por Dípteros Caliptrados. Disponível em <http://www.ufrj.br/posgrad/cppas/tese/do/red-118.htm> Arquivo acessado em 2001.

ONU – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento : Agenda 21. Brasília : Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p.

OUTWATER, A.B. **Reuse of sludge and minor wastewater residuals**. Lewis Publishers. Boca Raton, Flórida. USA. 1994, p.179.

PAIVA, D.P. Moscas e seu controle integrado na suinocultura. In: **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis : EPAGRI/EMPRAPE – CNPSA, 1995 p.23-28.

PASSAMANI, F.R.F.; BOF, V.S.; FIGUEIREDO, K.F.; MOTTA, J.S.; ROCHA, V.J.R.; GONÇALVES, R.F. Remoção de Coliformes Fecais e Patógenos em um Conjunto UASB-BF Tratando Esgoto Sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro : ABES, I-088, 1999.

_____; FIGUEIREDO, K.F.; MOTTA, J.S.; GONÇALVES, R.F. Comparação de técnicas laboratoriais para recuperação de ovos de helmintos em efluentes de um conjunto UASB-BF tratando esgoto sanitário. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, Porto Seguro-BA. **Anais...** Porto Seguro : ABES, III-081, 2000b.

_____; MOTTA, J.S.; FIGUEIREDO, K.F.; GONÇALVES, R.F. Higienização do Lodo de um Reator UASB com Vistas a sua Reciclagem na Agricultura. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX, Porto Seguro-BA. **Anais...** Porto Seguro : ABES, 2000a. p.638-646.

PAZ, S.P.A. A teníase/cisticercose e as ações sobre o meio ambiente. In: ENCONTRO DO CONE SUL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO SOBRE TENÍASE E CISTICERCOSE, 1º, Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba : SESA : UFPR : OPAS : MS/FNS, 1994. p.100-103.

PEREIRA, E.B. A variabilidade climática no Brasil e o recurso solar. In: MONTENEGRO, A.A. (Ed), 3ª edição. **Fontes Não-convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa**. Florianópolis: LABSOLAR, 2000, p.150-158.

PESSÔA, S.B.; MARTINS, A.V. **Parasitologia Médica**. 9ª edição : Guanabara Koogan, 1974.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; GENDA, A.; ROSSIN, A.C.; GUIMARÃES, F.A.; ISHIHATA, G.K.enge; SANTOS, José Araújo de Oliveira; OLIVEIRA, Walter Engrácia de. Saneamento do meio. São Paulo, Fundacentro; Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. Departamento de Saúde Ambiental, 1988.

PINTO, A.F.M.A. Efeitos da solarização no crescimento e na produção da cultura do feijão-verde em estufa. In: **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.123-134, Jan à Jun. 1994.

_____; MORAIS, A.F.P. **Solarização do Solo – um contributo para a sua aplicabilidade em Cabo Verde**. Disponível em http://www.ipv.pt/millenium/esf8_solo.htm Arquivo acessado em 2000.

PINTO, M. T. Recuperação de Cascalheiras – uma Alternativa Complementar para Reciclagem de Biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.93-96.

PRODAMNET. **Parasitologia – métodos e técnicas coproparasitológicas**. Disponível em <http://www.prodamnet.com.br/fmt/areas/parasmet1.htm> Arquivo acessado em 2002.

PUC-RS – Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. **Parasitologia**. Disponível em <http://br.geocities.com/medpucrsbr/parasitologiaII.htm> Arquivo acessado em 2002.

PULKOW, D.; AISSE, M.M. Estudo da Secagem do Lodo Obtido em Reatores tipo RALF. **Revista Acadêmica – PUC/PR**, ano VIII, n.2, p. 18-24, 1997.

RAIJ, B.V. **Uso Agrícola de Biossólidos**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.147-151.

REIFF, F. **Importance of environmental health measures in the prevention and control of taeniasis and cysticercosis**. 1994. 12 p.

REIS, L.G.L. **Solarização do sol e nemátodos**. In: *Revista de Ciências Agrárias*. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.79-83, Jan à Jun. 1994.

REIS, N.V.B.; CHARCHAR, J.M.; CARRIJO, O.A. **Efeito de Solarização Sobre a Produção de Tomate de Mesa e de Indústria em um Estufa Modelo Capela**. Embrapa Hortaliças : PA nº 38, p.1-5. dezembro, 1999.

REY, L. **Parasitologia – parasitos e doenças parasitárias do homem nas Américas e na África**. 2ª edição. Guanabara : Koogan, 1991.

ROBINSON, J.; KNOCKE, W.R. **Use of dilatometric and drying techniques for assessing sludge dewatering characteristics**. *Water environment research*, v.64, n.1, p.60-68, 1992.

ROCHA, M.T. **Utilização de Lodo de Esgoto na Agricultura**. Piracicaba, 1998. 184p. Tese (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ROGALLA, F. **Produção, Caracterização e Processamento de Biossólidos**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.35-40.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Orgs - Cleverson V. Andreoli, Bárbara Rocha P. Bonnet – Curitiba : Sanepar, 1998.

_____. - Companhia de Saneamento do Paraná. **Manual Técnico para Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto no Paraná**. Orgs: Fernando Fernandes, Cleverson V. Andreoli – Curitiba : Sanepar, 1997.

_____. - Companhia de Saneamento do Paraná. **Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto – estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária**. ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. (2ª Ed revisada). Curitiba-PR : SANEPAR, 1999.

SANTOS, H.F. **Normas e Critérios para o uso Agrícola dos Biossólidos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE's)**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sanepar/ABES, 1998. p.123-129.

SANTOS, J.F.; CORREIA, J.E.; GOMES, S.S.B.S.; SILVA, P.C.; BORGES, F.A.C. **Estudo das parasitoses intestinais na comunidade carentes dos bairros periféricos do Município de Feira de Santana (BA), 1993-1997**. Disponível em <http://www.uol.com.br/cultvox/revistas/sitientibus/15.htm> Arquivo acessado em 2002.

SERRÃO, M.G.; SIMÕES, A.M. **Efeito da técnica de solarização em algumas características químicas do solo**. In: *Revista de Ciências Agrárias*. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.97-105, Jan à Jun. 1994.

SILVA, J.B.C.; FALCÃO, L.L.; OLIVEIRA-NAPOLEÃO, I.T. **Desenvolvimento de um Sistema para Desinfecção de Substratos para Produção de Mudanças, Utilizando Vapor de Água**. Embrapa : nº15, dezembro, 1998.

SILVA, M.L.; RIBEIRO, J.A. **Avaliação de Diversas Estratégias no Controle de Infestantes**. U.T.A.D. Portugal (Vila Real). Disponível em <http://www.utad.pt/~apea/comunicacoes.html#e> Arquivo acessado em 2000.

SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, Cleverson V.; SPERLING, Marcos Von.; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final** – Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p.69-121.

SILVEIRA, H.L.; CAIXINHAS, M.L.. **Solarização do Solo e Infestantes**. In: Revista de Ciências Agrárias. Lisboa, v.XVII, n.1-2, p.67-75, Jan à Jun. 1994.

SIMEPAR – **Dados meteorológicos dos meses de fevereiro e março, 2001**.

SOUZA, M.A.A.; MONTEIRO, P.C.G.; BRANDÃO, C.C.S.; BERNARDES, R.S. Desinfecção solar: proposta de metodologia de estudo de viabilidade e determinação dos parâmetros básicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro : ABES, II057, 1999.

SPERLING, M.V.; ANDREOLI, C.V. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final** In: ANDREOLI, Cleverson V.; SPERLING, Marcos Von.; FERNANDES, Fernando – Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p.13-16.

_____; GONÇALVES, R.F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, Cleverson V.; SPERLING, Marcos Von.; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final** – Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p.17-67.

TAKAYANAGUI, O.M. Clínica da Cisticercose Humana. In: ENCONTRO DO CONE SUL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO SOBRE TENÍASE E CISTICERCOSE, 1º, Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba : SESA : UFPR : OPAS : MS/FNS, 1994. p.55-60.

TCHOUBANOGLIOUS G. **Integrated Solid Waste Management - Engineering Principles and Management Issues**, Ed. McGraw Hill Inc, New York, USA, 1993.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos Sanitários do Lodo de Esgoto. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/ABES, 1998b. p.65-72.

_____; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. Estudo da viabilidade de ovos de helmintos no lodo obtido por tratamento aeróbico (ETE) e anaeróbico (RALFs). In: **Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agronômicos e ambientais para implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto**. PADCT, 1996.

_____; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; ANDREOLI, C.V. Helminth Eggs Viability in Sewage and Biosolids Sludge in Curitiba, Paraná, Brazil. In: **Brazilian Archives of Biology and Technology**. TECPAR, V.40, n.4, p.829-835, 1997.

_____.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. Metodologia de Análise Parasitológica em Lodo de Esgoto e Esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Ed.). **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Curitiba : Sanepar, 1998a. p.27-41.

TOLEDO, E.B.S.; MEDEIROS, M.L.B. Amostragem de Lodo de Esgoto para Análises Microbiológicas. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Ed.). **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. Curitiba : Sanepar, 1998. p.37-42.

TSANG, K.R.; VESILIND, P.; A. Moisture distribution in sludges. *Wat Science and Tech.*, 22 (12), S.135-142, 1990.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de Disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed). **Biossólidos na Agricultura**. 1ª edição, São Paulo : SABESP, p.133-180. 2001b

_____. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed). **Biossólidos na Agricultura**. 1ª edição, São Paulo : SABESP, 2001, p.89-131.

UFRGS. *Ascaris lumbricoides*. Disponível em <http://www.ufrgs.br/para-site/espécies/txascar.htm> Arquivo acessado em 2001.

USEPA - UNITED STATES ENIRONMENRAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR Part 503**. Washington : Office of Water, Office of Science and Technology Sludge/Risk Assessment Branch. USEPA/20460, 1992.

_____. - UNITED STATES ENIRONMENRAL PROTECTION AGENCY. **Health effects of land application of municipal sludge**. Research and Development. Cincinnati : USEPA/600/1-85/015, 1985. 78 p.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos – Um manual para regiões de clima quente**. 1994.

VAZOLLER, R.F. **Microbiologia e saneamento ambiental**. Universidade de São Paulo - USP. Disponível em <http://www.bdt.org.br/~marinez/padct.bio/cap9/3/rosana.html> Arquivo acessado em 1999.

VERONESI, R.; FRANÇA NETTO, A.S.; FOCACCIA, R. Cisticercose. In: VERONESI, R.; FOCACCIA, R.; DIETZE, R. (Org). **Doenças infecciosas e parasitárias**. 8ª edição : Guanabara, 1991. p.820-824.

WEBBER, M.D.; SHAMESS, A. **Land Utilization of Sewage Sludge** : a Discussion Paper. Toronto : Expert COMMITTE on Soil Water Management, 1984. 48 p.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEICHMMAN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. **Solar Water Disinfection : Scope on the Process and Analysis of Radiation Experiments**. J. Water SRT – Aqua, Vol(43)3, 1994, p.154-169.

YANKO, W.A., 1987. Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges. In: **Environmental regulation and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. Rapport U.S. EPA 625/R-92/013, 149. Washington : EPA, 1992.

ZERBINI, A.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; VIANA, E.M. Estudo da Remoção de Ovos de Helmintos e Indicadores Bacterianos em um Sistema de Tratamento de Esgotos Domésticos por Reator Anaeróbio e Aplicação Superficial no Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro-RJ. *Anais...* Rio de Janeiro : ABES, 1999. p.895-904.

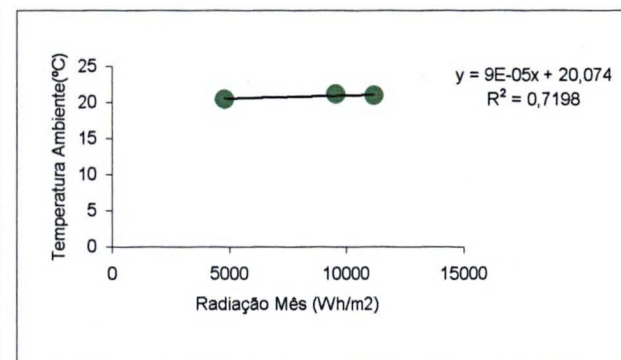
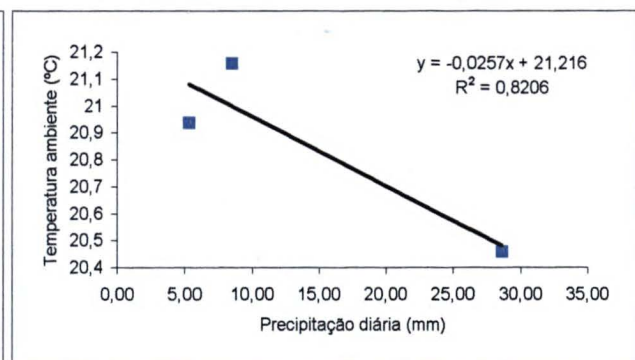
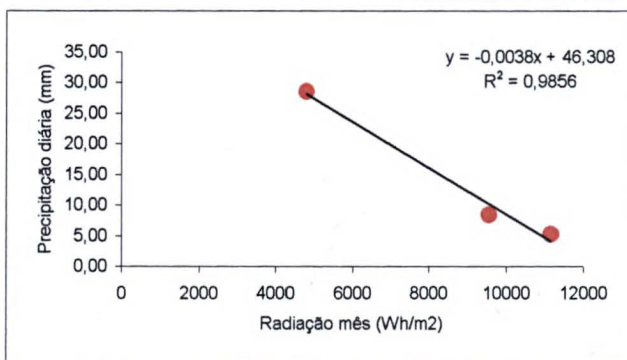
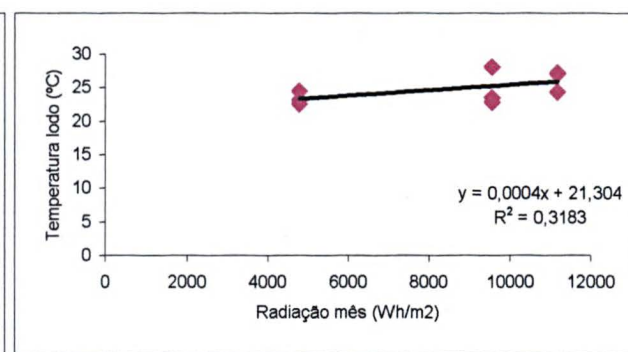
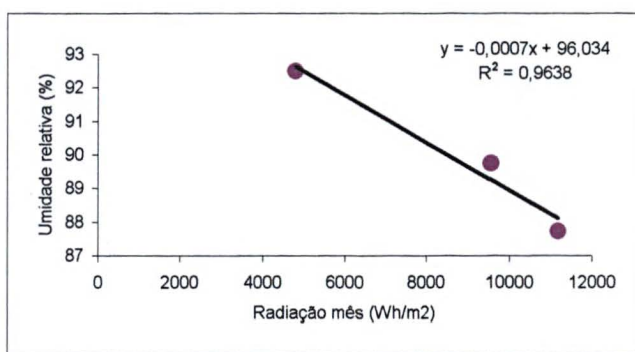
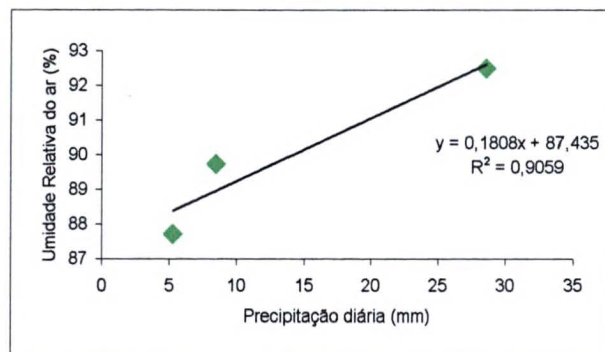
9 ANEXOS

1 - Correlações e diagramas de dispersão

Correlações e Diagramas de Dispersão

GRÁFICOS DE DISPERSÃO

Fatores climáticos



Valores para a média ponderada das caracterizações superficial e profunda

Tratamentos	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Test0	342,64	4797,00	28,60	192,00	63,97	16,98	26,54	100,00	11,10	24,31	20,46	92,5
Test30	341,57	9564,05	8,47	237,20	37,50	11,05	29,30	65,06	40,12	24,07	21,16	89,75
Test60	360,51	11175,85	5,32	165,00	59,77	22,24	34,15	131,00	47,54	24,57	20,94	87,72
SolSec0	342,64	4797,00	28,60	192,00	53,82	17,01	31,81	100,00	13,86	26,17	20,46	92,5
SolSec30	341,57	9564,05	8,47	237,20	42,96	9,13	19,39	53,73	25,98	26,28	21,16	89,75
SolSec60	360,51	11175,85	5,32	165,00	53,53	17,40	27,09	99,98	45,23	24,00	20,94	87,72
SecSol0	342,64	4797,00	28,60	192,00	55,42	16,69	30,77	100,00	10,32	23,03	20,46	92,5
SecSol30	341,57	9564,05	8,47	237,20	46,28	18,49	41,19	112,54	35,45	22,83	21,16	89,75
SecSol60	360,51	11175,85	5,32	165,00	56,49	5,20	8,59	30,86	36,21	26,65	20,94	87,72

Coefficientes de correlação em função das variáveis analisadas para a média ponderada das caracterizações superficial e profunda

	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Rad. x diár.	1											
Rad. acum. mês	0,658	1										
PP. x diár.	-0,563	-0,993	1									
PP. acum. mês	-0,815	-0,101	-0,019	1								
Ovos Totais	0,432	-0,300	0,399	-0,803	1							
Ovos Viáveis	0,021	-0,230	0,256	-0,206	0,389	1						
Viab. Ovos	-0,353	-0,237	0,204	0,285	-0,093	0,842	1					
Red. Ovos	-0,004	-0,239	0,262	-0,178	0,378	0,999	0,858	1				
Teor Sól.	0,653	0,945	-0,933	-0,136	-0,279	0,003	0,003	-0,009	1			
Temp. Lodo	0,225	0,131	-0,108	-0,196	0,048	-0,597	-0,614	-0,009	-0,044	1		
Temp Amb	0,160	0,848	-0,906	0,441	-0,698	-0,317	-0,062	-0,311	0,780	0,014	1	
Umid Rel.	-0,790	-0,982	0,952	0,288	0,135	0,182	0,283	0,196	-0,935	-0,164	-0,732	1

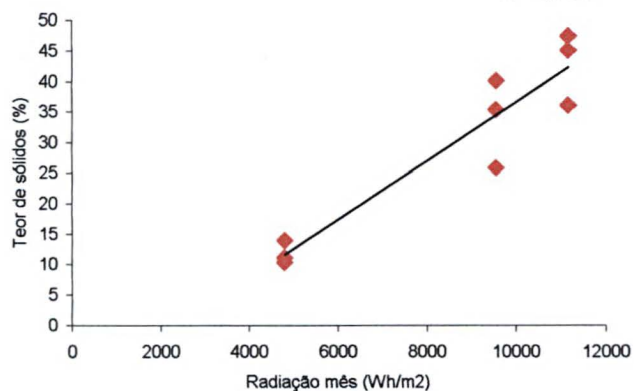
$$\alpha = 0,666$$

áficos de dispersão
CORRELAÇÕES PARA PERFIL DE LODO (MÉDIA PONDERADA)

Perfil de lodo

$$y = 0,0048x - 11,633$$

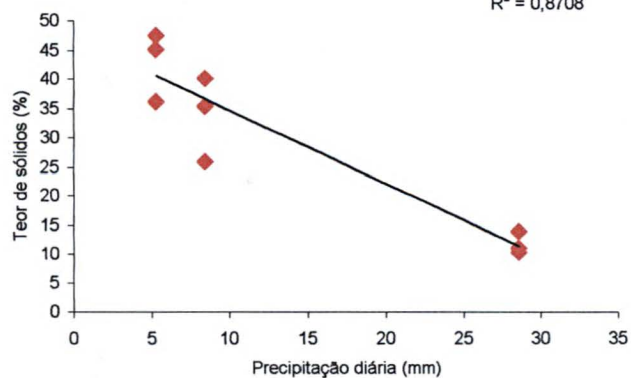
$$R^2 = 0,8928$$



Perfil de lodo

$$y = -1,2543x + 47,258$$

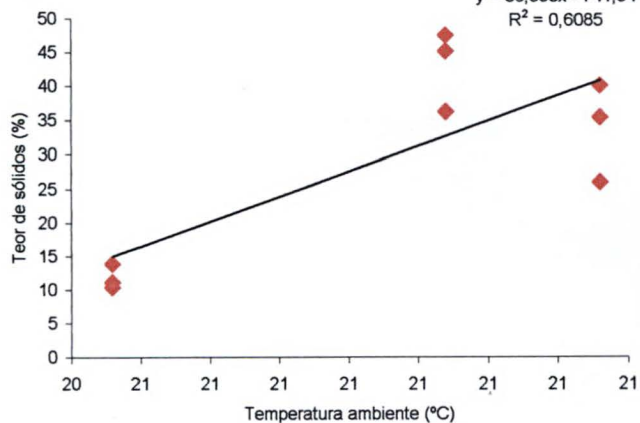
$$R^2 = 0,8708$$



Perfil de lodo

$$y = 36,995x - 741,94$$

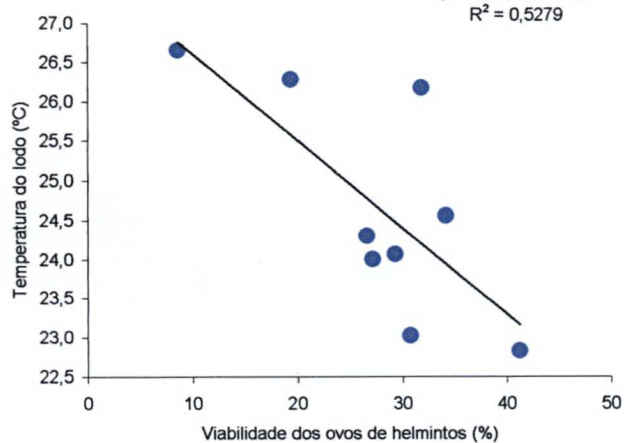
$$R^2 = 0,6085$$



Perfil de lodo

$$y = -0,1101x + 27,7$$

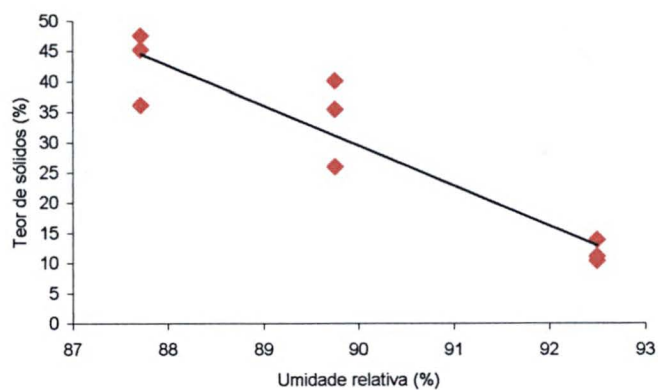
$$R^2 = 0,5279$$



Perfil de lodo

$$y = -6,6196x + 625,23$$

$$R^2 = 0,875$$



Valores para a caracterização superficial

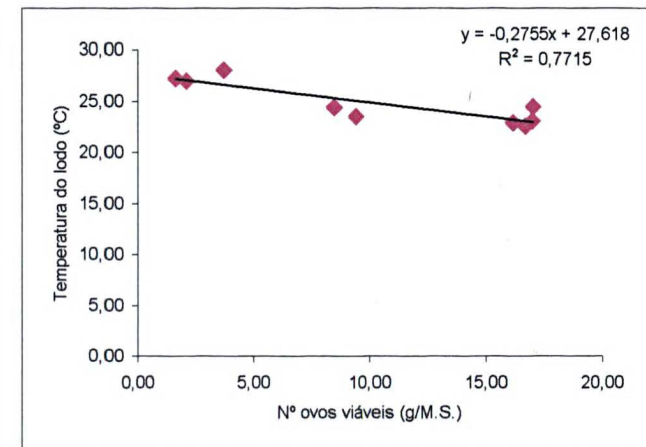
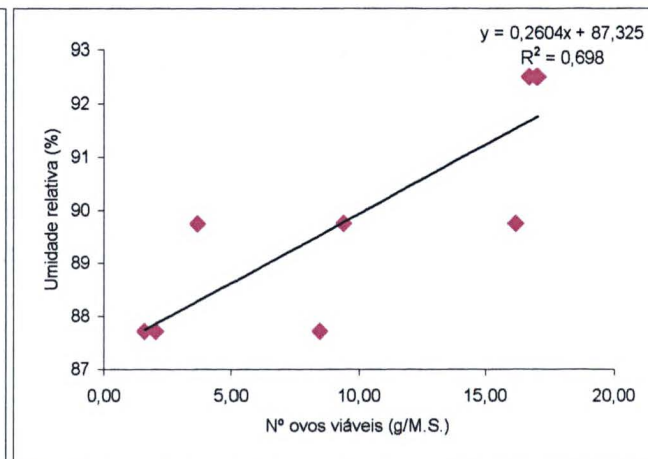
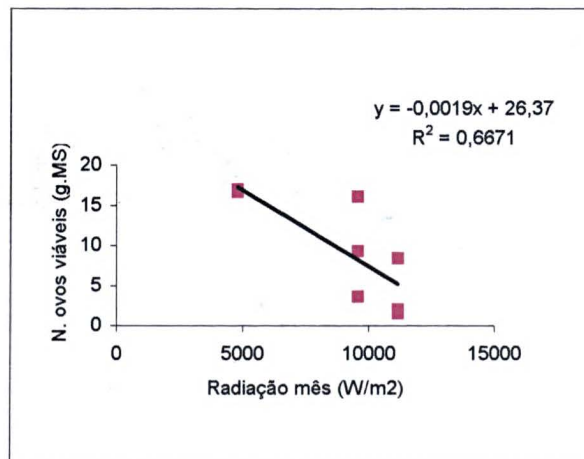
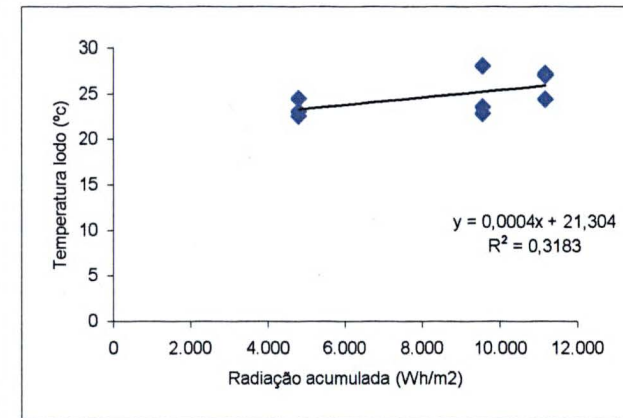
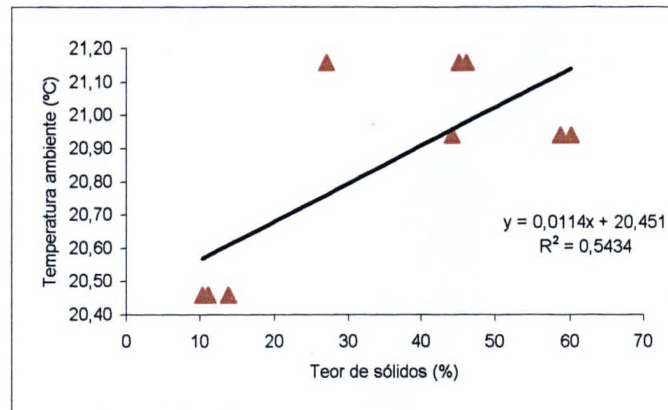
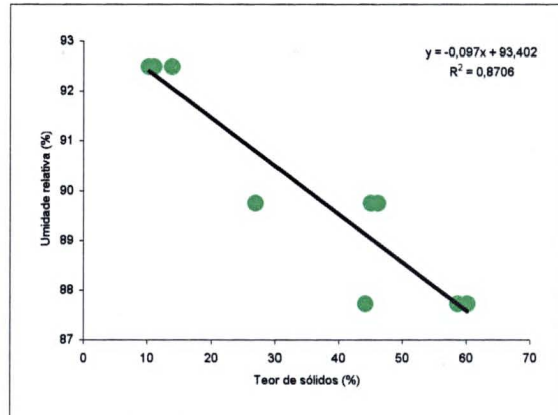
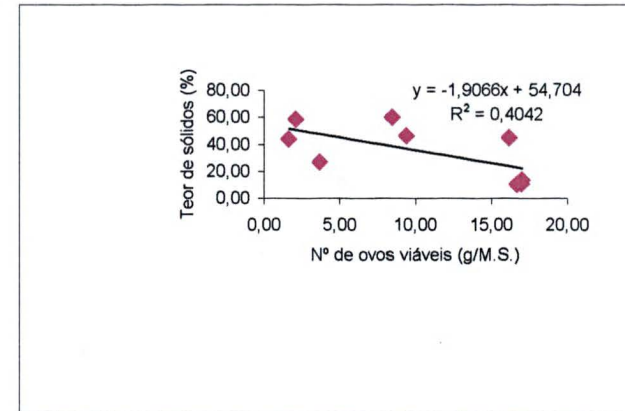
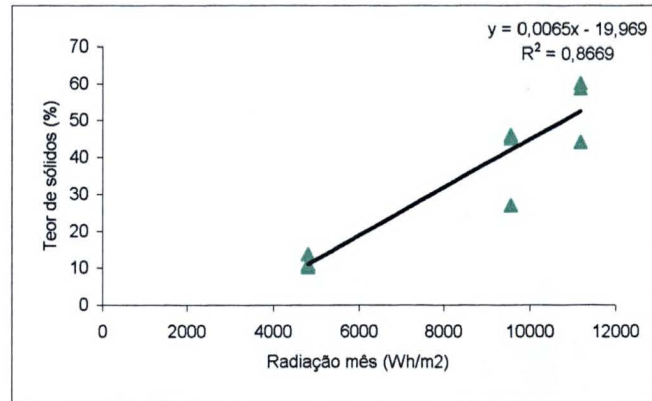
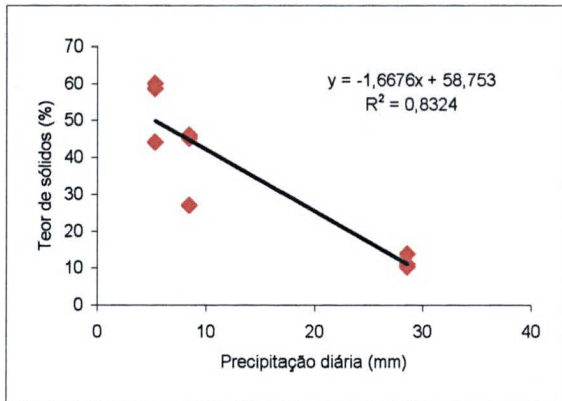
Tratamentos	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Test0	342,64	4797,00	28,60	192,00	63,97	16,98	26,54	100,00	11,10	23,08	20,46	92,5
Test30	341,57	9564,05	8,47	237,20	34,39	9,40	27,33	55,36	46,17	23,53	21,16	89,75
Test60	360,51	11175,85	5,32	165,00	16,67	8,47	50,81	49,88	60,19	24,38	20,94	87,72
SolSec0	342,64	4797,00	28,60	192,00	53,82	17,01	31,58	100,00	13,86	24,49	20,46	92,5
SolSec30	341,57	9564,05	8,47	237,20	33,93	3,69	8,49	18,58	27,04	28,07	21,16	89,75
SolSec60	360,51	11175,85	5,32	165,00	16,65	2,08	10,99	10,97	58,66	27,01	20,94	87,72
SecSol0	342,64	4797,00	28,60	192,00	55,42	16,69	30,77	100,00	10,32	22,56	20,46	92,5
SecSol30	341,57	9564,05	8,47	237,20	49,00	16,16	33,58	98,01	45,14	22,87	21,16	89,75
SecSol60	360,51	11175,85	5,32	165,00	43,39	1,62	3,67	9,79	44,23	27,21	20,94	87,72

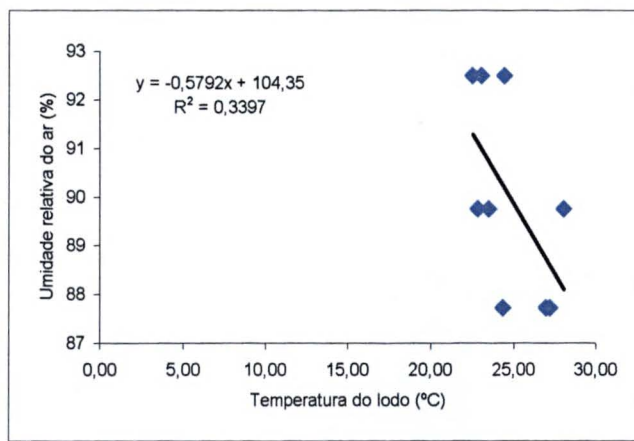
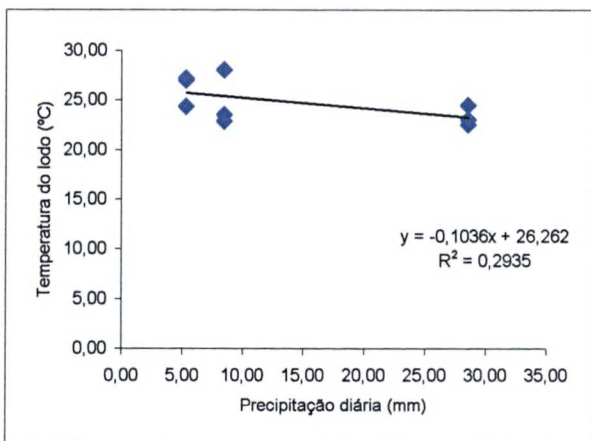
Coefficientes de correlação em função das variáveis analisadas para a caracterização superficial

	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Rad. x diár.	1											
Rad. acum. mês	0,658	1										
PP. x diár.	-0,563	-0,993	1									
PP. acum. mês	-0,816	-0,101	-0,019	1								
Ovos Totais	-0,657	-0,820	0,795	0,237	1							
Ovos Viáveis	-0,671	-0,817	0,790	0,258	0,733	1						
Viab. Ovos	-0,144	-0,244	0,245	0,003	0,018	0,636	1					
Red. Ovos	-0,659	-0,805	0,778	0,252	0,732	0,999	0,640	1				
Teor Sól.	0,688	0,931	-0,912	-0,193	-0,850	-0,636	0,020	-0,621	1			
Temp. Lodo	0,486	0,564	-0,542	-0,208	-0,513	-0,878	-0,888	-0,621	0,320	1		
Temp Amb	0,160	0,848	-0,906	0,441	-0,613	-0,599	-0,218	-0,591	0,737	0,398	1	
Umid Rel.	-0,790	-0,982	0,952	0,288	0,834	0,835	0,235	0,823	-0,933	-0,583	-0,732	1

$$\alpha = 0,666$$

Gráficos de dispersão
CORRELAÇÕES PARA CAMADA SUPERFICIAL EM PERFIL DE LODO





Valores para a caracterização profunda

Tratamentos	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Test0	342,64	4797,00	28,60	192,00	63,97	16,98	26,54	100,00	11,1	24,92	20,46	92,5
Test30	341,57	9564,05	8,47	237,20	39,06	11,87	30,29	31,91	37,1	24,34	21,16	89,75
Test60	360,51	11175,85	5,32	165,00	81,32	29,13	25,82	20,05	41,21	24,66	20,94	87,72
SolSec0	342,64	4797,00	28,60	192,00	53,82	17,01	31,92	100,00	13,86	27,01	20,46	92,5
SolSec30	341,57	9564,05	8,47	237,20	47,47	11,85	24,83	71,30	25,45	25,38	21,16	89,75
SolSec60	360,51	11175,85	5,32	165,00	71,97	25,06	35,14	144,49	38,52	22,50	20,94	87,72
SecSol0	342,64	4797,00	28,60	192,00	55,42	16,69	30,77	100,00	10,32	23,26	20,46	92,5
SecSol30	341,57	9564,05	8,47	237,20	44,92	19,66	45,00	119,81	30,60	22,81	21,16	89,75
SecSol60	360,51	11175,85	5,32	165,00	63,05	6,98	11,05	41,40	32,19	26,38	20,94	87,72

Coefficientes de correlação em função das variáveis analisadas para a caracterização profunda

	Rad. x diár.	Rad. acum. mês	PP. x diár.	PP. acum. mês	Ovos Totais	Ovos Viáveis	Viab. Ovos	Red. Ovos	Teor Sól.	Temp. Lodo	Temp Amb	Umid Rel.
Rad. x diár.	1											
Rad. acum. mês	0,658	1										
PP. x diár.	-0,563	-0,993	1									
PP. acum. mês	-0,815	-0,101	-0,019	1								
Ovos Totais	0,810	0,228	-0,121	-0,895	1							
Ovos Viáveis	0,353	0,129	-0,086	-0,367	0,627	1						
Viab. Ovos	-0,423	-0,164	0,113	0,433	-0,305	0,499	1					
Red. Ovos	-0,205	-0,340	0,340	0,009	-0,049	0,245	0,626	1				
Teor Sól.	0,619	0,949	-0,943	-0,088	0,227	0,279	-0,022	-0,376	1			
Temp. Lodo	-0,022	-0,202	0,219	-0,127	-0,021	-0,485	-0,467	-0,376	-0,258	1		
Temp Amb	0,160	0,848	-0,906	0,441	-0,270	-0,079	0,082	-0,302	0,809	-0,250	1	
Umid Rel.	-0,790	-0,982	0,952	0,288	-0,391	-0,195	0,241	0,329	-0,930	0,171	-0,732	1

$$\alpha = 0,666$$

Gráficos de dispersão
CORRELAÇÕES PARA CAMADA PROFUNDA EM PERFIL DE LODO

